

Tommi Heinonen

High Capacity Transport -ajoneuvoyhdistelmien vaikutukset liikennevirtaan



Tommi Heinonen

High Capacity Transport -ajoneuvo- yhdistelmien vaikutukset liikennevirtaan

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 48/2017

Liikennevirasto

Helsinki 2017

Kannen kuva: Tommi Heinonen

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-463-4

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Tommi Heinonen: High Capacity Transport -ajoneuvoyhdistelmien vaikutukset liikennevirtaan. Liikennevirasto, hankesuunnitteluosasto. Helsinki 2017. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 48/2017. 237 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-463-4.

Avainsanat: tiet, liikenne, raskas liikenne, ajoneuvoyhdistelmät, ohitukset, jonot, sujuvuus

Tiivistelmä

High Capacity Transport- eli HCT-ajoneuvoyhdistelmillä tarkoitetaan ajoneuvoyhdistelmiä, joiden pituus ja/tai massa ovat tavallista suurempia, mutta joita ei luokitella erikoiskuljetusajoneuvoiksi. Suurempien mittojen ja massojen avulla pyritään alentamaan kuljetusten kustannuksia ja päästöjä. Suomessa ajoneuvoyhdistelmien suurin sallittu kokonaismassa on valtioneuvoston asetuksen 407/2013 mukaisesti 76 tonnia, maksimileveys 2,6 metriä, maksimikorkeus 4,4 metriä ja maksimipituus 25,25 metriä. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi voi myöntää määräaikaista poikkeuslupia yli 25,25 metriä pitkällä ja/tai yli 76 tonnia painavilla HCT-ajoneuvoyhdistelmillä liikennöintiin.

HCT-ajoneuvoyhdistelmien soveltuvuutta ja potentiaalia osana suomalaista kuljetusjärjestelmää selvitetään lukuisin tutkimuksin. Tässä tutkimuksessa on pyritty selvittämään, millaisia vaikutuksia HCT-ajoneuvoyhdistelmillä on liikennevirtaan ja liikenteen sujuvuuteen normaalikokoisiin ajoneuvoyhdistelmiin verrattuna. Erityisesti keskityttiin ohituskäyttäytymiseen, jonoutumiseen sekä ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyvien asioiden tutkimiseen.

Työtä varten kolmeen HCT-yhdistelmään kiinnitettiin tutkimuslaitteisto, joka koostui kolmesta videokamerasta sekä GPS-paikantimesta. Tutkitut HCT-yhdistelmät olivat 90–104 tonnia painavia ja 31–34,5 metriä pitkiä. Vastaava laitteisto kiinnitettiin myös kolmeen normaalikokoiseen, 64–76 tonnia painavaan ja noin 25 metriä pitkään verrokiajoneuvoyhdistelmään. Tutkimusmateriaalia kerättiin Rovaniemen ja Ivalon, Kempeleen ja Vantaan sekä Savonlinnan ja Lappeenrannan välisiltä reiteiltä siten, että kullakin reitillä liikennöi yksi HCT-yhdistelmä ja sen verrokkiyhdistelmä. Kerättyä aineistoa analysoimalla voitiin tutkia eroja ajoneuvoyhdistelmien välillä.

Ohituskäyttäytymiseen liittyvät erot ajoneuvoyhdistelmien välillä havaittiin pieniksi. HCT-yhdistelmien ohittaminen kesti hieman verrokkiyhdistelmien ohittamista kauemmin. Lisäksi HCT-yhdistelmien ohittajat vaativat hieman pidempiä aikavälejä vastaan tulevassa liikenteessä suorittaakseen ohituksen. Ohitusturvallisuudessa ei havaittu merkittävää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä. Jonoutumiseen liittyen havaittiin, että keskimääräinen jononpituus HCT-yhdistelmien takana oli hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmien takana. Lisäksi HCT-ajoneuvoyhdistelmien perässä oltiin valmiita ajamaan pitempiä matkoja suorittamatta ohitusta. Jonoutumiseen liittyviä eroja HCT- ja verrokkiyhdistelmien välille aiheuttivat kuitenkin osittain myös erisuuruiset liikennemäärät yhdistelmien ajamilla matkoilla.

Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyen havaittiin, että HCT-ajoneuvoyhdistelmien nopeudet olivat hieman verrokkiyhdistelmien nopeuksia alhaisempia. Lisäksi HCT-ajoneuvoyhdistelmät vaativat liittymissä ja kiertoliittymissä verrokkiyhdistelmiä enemmän tilaa, mutta mahtuivat kuitenkin liikennöimään liittymissä ilman merkittäviä ongelmia.

Tommi Heinonen: High Capacity Transport -fordonskombinationers påverkan på trafikflöde. Trafikverket, projektplanering. Helsingfors 2017. Trafikverkets undersökningar och utredningar 48/2017. 237 sidor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-463-4.

Nyckelord: tung trafik, fordonskombinationer, High Capacity Transport, HCT-fordon, trafikflöde, omkörning, köbildning

Sammanfattning

High Capacity Transport (HCT) -fordonskombinationer är längre och/eller tyngre än vanliga fordonskombinationer. Specialtransportfordon kategoriseras ändå inte som HCT-fordon. Syftet med att öka längden och vikten av fordonskombinationer är att minska transportkostnader och utsläpp. Enligt gällande bestämmelser i Finland är den maximala totalvikten för en fordonskombination 76 ton, den maximala bredden 2,6 meter, den maximala höjden 4,4 meter och den maximala längden 25,25 meter. Trafiksäkerhetsverket Trafi kan ge särskilda tillstånd för företag att använda HCT-fordon på bestämda rutter.

Flera pågående forskningsprojekt undersöker möjligheterna och potentialen hos HCT-fordonskombinationer i det finländska transportsystemet. Syftet med den här studien var att ta reda på hur HCT-fordon påverkar trafikflödet i jämförelse med normalstora fordonskombinationer. Fokus för forskningsprojektet var på omkörningsbeteende, köbildning och tunga fordonskombinationers dynamiska beteende.

Undersökningsmaterialet som används i den här studien samlades in genom att fästa tre videokameror och en GPS-mottagare i tre HCT-fordon. Dessa HCT-fordon var 90–104 ton tunga och 31–34,5 meter långa. För jämförelse, en identisk instrumentering installerades också i tre fordonskombinationer, som var 64–76 ton tunga och 25 meter långa. Undersökningsmaterialet samlades in från tre olika rutter, så att ett HCT-fordon och ett jämförelsefordon producerade material från varje rutt. Skillnaderna mellan fordonskombinationer undersöktes genom att analysera det insamlade materialet.

När det gäller omkörningsbeteende, var skillnaderna mellan fordonskombinationerna relativt små. Omkörning av HCT-fordon tog något längre tid än omkörning av jämförelsefordon. Förarna som körde om HCT-fordon krävde också något längre luckor i det motsatta trafikflödet för att genomföra omkörning. Signifikanta skillnader i omkörningssäkerhet observerades inte. När det gäller köbildning fann man att den genomsnittliga kölängden bakom HCT-fordon var något större än bakom jämförelsefordon. Skillnaderna i köbildning berodde dock dels också på skillnader i trafikflödet.

När det gäller det dynamiska beteendet, konstaterades att HCT-fordonens genomsnittliga hastigheter var något lägre jämfört med jämförelsefordonens hastigheter. HCT-fordon krävde också mer utrymme i rondeller och korsningar än jämförelsefordonskombinationer. HCT-fordon kunde ändå köra i rondeller och korsningar utan större problem.

Tommi Heinonen: The effect of High Capacity Transport vehicles on the traffic flow. Finnish Transport Agency, Project Planning. Helsinki 2017. Research reports of the Finnish Transport Agency 48/2017. 237 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-463-4.

Keywords: heavy goods vehicles, vehicle combinations, High Capacity Transport, traffic flow, overtaking, platoon formation

Summary

High Capacity Transport (HCT) vehicle combinations are longer and/or heavier than regular vehicle combinations. However, special transport vehicle combinations are not categorised as HCT vehicles. The purpose of increasing the length and mass of vehicle combinations is to decrease the transportation costs and emissions. According to the current regulations in Finland, the maximum mass of a vehicle combination is 76 tonnes, the maximum width is 2,6 meters, the maximum height is 4,4 meters and the maximum length is 25,25 meters. The Finnish Transport Safety Agency Trafi can give special permits for companies to use HCT vehicles on designated routes.

Several ongoing research projects investigate the feasibility and potential of HCT vehicle combinations in the Finnish transportation system. The aim of this study was to find out how HCT vehicles affect the traffic flow in comparison to normal sized vehicle combinations. The focus of the research project was on overtaking behaviour, platoon formation and the dynamic behaviour of heavy vehicle combinations.

The data used in this study was gathered by attaching three video cameras and a GPS tracker into three HCT vehicles. These HCT-vehicles were 90–104 tons heavy and 31–34.5 meters long. For comparison, identical instrumentation was also installed into three normal sized comparison vehicle combinations. These comparison vehicles were 64–76 tons heavy and 25 meters long. The research material was gathered from three different routes so that one HCT vehicle and one comparison vehicle produced material from each of the routes. Differences between the vehicle combinations were investigated by analysing the gathered material.

When it comes to overtaking behaviour, differences between the vehicle combinations were found to be relatively small. Overtaking the HCT vehicles took a slightly longer time than overtaking the comparison vehicle combinations. The overtakers of the HCT vehicles also required slightly longer gaps in the opposing traffic stream in order to overtake. Significant differences in overtaking safety were not observed. Considering platoon formation it was found that the mean queue length behind the HCT vehicles was slightly larger than behind the comparison vehicle combinations. However, differences in platoon formation were partly due to differences in the traffic flow.

When it comes to the dynamic behaviour of the researched vehicles, it was observed that the mean velocities of the HCT vehicles were slightly lower than those of the comparison vehicles. The HCT vehicles also required more space in roundabouts and intersections than the comparison vehicle combinations. However, the HCT vehicles were able to operate on roundabouts and intersections without major problems.

Esipuhe

Tutkimus on tehty Aalto-yliopiston rakennetun ympäristön laitoksen liikennetekniikan ryhmässä, jossa työn vastuullisena johtajana on toiminut professori Tapio Luttinen. Aineiston analyysin sekä tutkimusraportin kirjoitustyön on tehnyt Tommi Heinonen.

Raportin kirjallisuuskatsaus sekä reittiä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi koskevat tulokset perustuvat kirjoittajan diplomityöhön. Harri Vanhala on avustanut tutkimuslaitteiston suunnittelussa ja Kari Hintikka on vastannut laitteistojen ylläpidosta ja huoltamisesta. Lisäksi tutkimukseen ovat osallistuneet Aapo Lumikoivu ja Åsa Enberg. Liikenneviraston yhteyshenkilönä työssä toimi Jorma Saarelainen.

Helsingissä lokakuussa 2017

Liikennevirasto
Hankesuunnitteluosasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	9
2	YHDISTELMÄAJONEUVOJEN MITTOJA, MASSOJA JA KONFIGURAATIOITA.....	12
2.1	Yhdistelmäajoneuvojen koon kehitys Suomessa	12
2.2	Vetoauton ja puoliperävaunun yhdistelmä.....	14
2.3	Kuorma-auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmä.....	15
2.4	Kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmä.....	16
2.5	Moduuliyhdistelmät (European Modular System)	17
2.6	Poikkeusluvan vaativat HCT-ajoneuvoyhdistelmät	20
3	RASKAIDEN AJONEUVOJEN VAIKUTUKSET LIIKENNEVIRTAAN	23
3.1	Raskaat ajoneuvot liikennevirrassa	23
3.2	Nopeudet.....	24
3.3	Jonoutuminen.....	28
3.4	Ohittaminen.....	30
4	AIEMMAT HCT-KOKEILUT JA -TUTKIMUKSET	36
4.1	HCT-kuljetusten ja -tutkimusten tilanne maailmalla	36
4.2	Ruotsalaiset HCT-kokeilut.....	37
4.2.1	En Trave Till eli ETT-projekti	37
4.2.2	DUO2-projekti.....	39
4.2.3	Muut ruotsalaiset HCT-kokeilut	41
4.3	HCT-ajoneuvoihin liittyviä tutkimuksia	42
4.3.1	Raskaan ajoneuvon koon vaikutukset liikenneturvallisuuteen.....	42
4.3.2	Ajoneuvopituuden vaikutukset ohittamiseen	45
4.3.3	Muita HCT-ajoneuvoihin liittyviä tutkimuksia.....	50
5	TUTKIMUSMATERIAALIN KERÄÄMINEN JA ANALYSOINTI.....	52
5.1	Esiselvitys mahdollisista tutkimuskohteista.....	52
5.2	Tutkimuskohteet.....	53
5.2.1	Ketosen Kuljetus Oy	53
5.2.2	Mikko Niskala Oy.....	57
5.2.3	Orpe Kuljetus Oy ja Kuljetus Szepaniak Oy	60
5.3	Tutkimuslaitteisto	64
5.4	Tutkimusmateriaalin analysointi.....	69
6	OHITUSKÄYTTÄYTYMINEN.....	76
6.1	Analysoidun materiaalin ja ohitusten määrä	76
6.2	Ohitusten kesto.....	89
6.3	Ohitusmatkan pituus	95
6.4	Ohitusnopeudet	100
6.5	Ohitusaikavälin pituus.....	127
6.6	Turva-aikojen pituus.....	142
6.7	Muita havaintoja ohituksiin liittyen	151
7	JONOUTUMINEN.....	156
7.1	Jononpituus ajoneuvoyhdistelmien takana.....	156
7.2	Seuranta-ajan kesto.....	164

8	AJONEUVOYHDISTELMIEN KÄYTTÄYTYMINEN	182
8.1	Keskinopeudet.....	182
8.2	Nopeudet mäissä	185
8.3	Kiertoliittymissä ja muissa liittymissä ajaminen.....	193
8.4	Muita havaintoja	208
9	TULOSTEN ANALYSOINTI JA LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI	210
9.1	Ohitukset.....	210
9.2	Jonoutuminen.....	217
9.3	Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen	219
10	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	223
	LÄHTEET	230

1 Johdanto

High Capacity Transport- eli HCT-ajoneuvoyhdistelmillä tarkoitetaan yleensä tarkasteltavan valtion kansallisessa lainsäädännössä asetetut enimmäismitat ja/tai -massat ylittäviä ajoneuvoyhdistelmiä. Erikoiskuljetusajoneuvoja ei kuitenkaan luokitella HCT-ajoneuvoyhdistelmiksi. High Capacity Transport ei ole ainoa tavallista suurempia ajoneuvoyhdistelmiä kuvaamaan käytetty termi, vaan eri maanosissa normaalia suurempia ajoneuvoja voidaan kuvata myös muilla nimillä. Esimerkiksi Euroopassa käytetään termiä Longer and/or Heavier Vehicles (LHV), Pohjois-Amerikassa termiä Longer Combination Vehicles (LCV) ja Australiassa termiä Higher Productivity Vehicles (HPV) (Ilgner & Benrick 2014). HCT-ajoneuvoyhdistelmistä käytetään myös arkipäiväisempiä nimityksiä, jollaisia edustavat esimerkiksi Suomessa käytetyt termit jättirekka, ekorekka ja superrekka. Täsmällisemmin HCT-ajoneuvoyhdistelmiä voidaan kuvata suomenkielisellä termillä suuren hyötykuorman ajoneuvoyhdistelmä.

Tämän työn yhteydessä HCT-ajoneuvoyhdistelmillä tarkoitetaan Suomen lainsäädännössä asetetun 25,25 metrin maksimipituuden ja/tai 76 tonnin kokonaismassan ylittäviä ajoneuvoyhdistelmiä. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on myöntänyt noin 30 määräaikaista poikkeuslupaa tällaisille HCT-ajoneuvoyhdistelmille. Poikkeuslupan saaneilla yrityksillä on velvollisuus osallistua HCT-kokeiluun liittyviin tutkimuksiin, joissa selvitetään, miten normaalia suuremmat ajoneuvot vaikuttavat esimerkiksi tietöön, kuljetustalouteen, kuljetusten ympäristövaikutuksiin ja muuhun liikenteeseen (Trafi.fi 2016a). Liikennevirasto on tilannut Aalto-yliopistolta tutkimuksen, jonka tarkoituksena on selvittää, miten HCT-ajoneuvoyhdistelmät vaikuttavat liikennevirtaan ja liikenteen sujuvuuteen. Tutkimus jakautuu kolmeen vaiheeseen kuvan 1.1 osoittamalla tavalla.

Vaihe I - Esiselvitys (8/2014–8/2015)

- HCT-ajoneuvoyhdistelmien kartoittaminen ja tutkimuskohteiden valinta
- Tutkimuslaitteiston suunnittelu ja asennus yhteen HCT-ajoneuvoyhdistelmään
- Tutkimusaineiston analysointimenetelmän kehittäminen

Vaihe II - Diplomityö (8/2015–5/2016)

- Tutkimuslaitteistojen asennus viiteen muuhun yhdistelmäajoneuvoon
- Tutkimusaineiston keräämistä ja laitteistojen ylläpitoa
- Analysointimenetelmän jatkokehitys ja Ivalo–Rovaniemi -reitin aineistojen analysointi
- Kirjallisuusselvityksen tekeminen

Vaihe III - Kokonaisraportti (5/2016–2/2017)

- Tutkimusaineiston keräämistä ja laitteistojen ylläpitoa
- Vantaa–Kempele -reitin sekä Saimaan ympäristön reitin aineistojen analysointi
- Tulosten vertailua ja kokonaisuuden analysointia
- Kokonaisraportin kirjoittaminen
- Tutkimuslaitteistojen purkaminen

Kuva 1.1. Tutkimusprojektin vaiheistus.

HCT-ajoneuvoilla voidaan kuljettaa kerralla normaalia suurempi määrä tavaraa, jolloin energiankulutuksen suhde hyötykuormaan laskee. Kun polttoaineenkulutus kuljetettua tavaramäärää kohden pienenee, pienenevät myös kuljetusyksikköä kohti lasketut päästöt ja kuljetuskustannukset. Ajoneuvoyhdistelmien massan kasvaessa yhdistelmien akselien määrää lisätään, jolloin tiehen välittyvä akselikuormitus ei kasva normaalipainoisiin yhdistelmiin verrattuna. Koska HCT-ajoneuvoyhdistelmien hyötykuorma on tavallisia ajoneuvoyhdistelmiä suurempi, voidaan HCT-ajoneuvoyhdistelmien määrää lisäämällä vähentää raskaiden ajoneuvojen kokonaismäärää tieverkolla. Trafin myöntämät määräaikaiset poikkeusluvut ovat yleensä kestoaltaan enintään viisivuotisia ja niitä voidaan myöntää yrityksille, jotka anovat lupaa uuden tekniikan kokeilemisen, tuotekehityksen tai muun erityisen syyn vuoksi. Luvat ovat ajoneuvokohtaisia ja lupaehdoissa on kullekin ajoneuvolle tarkkaan määritelty sallittu liikennöintireitti. Joulukuun 2016 alkuun mennessä Trafi on myöntänyt poikkeuslupia 18:lle yli 25,25 metriä pitkälle ja/tai yli 76 tonnia painavalle ajoneuvoyhdistelmälle. Kyseiset ajoneuvoyhdistelmät ovat 25–34,5 metriä pitkiä ja niiden suurin sallittu kokonaismassa on 68–104 tonnia. Kuudella yhdistelmästä kuljetetaan merikontteja, kuudella päivittäistavaroita ja kappaletavaraa, viidellä raakapuuta ja yhdellä sementtiä. Lisäksi Trafin käsittelyssä on useita poikkeuslupahakemuksia uusille HCT-ajoneuvoyhdistelmille. (Trafi.fi 2016a, Trafi.fi 2016b.)

HCT-ajoneuvoihin liittyvää tutkimusta on tehty muun muassa Australiassa, Pohjois-Amerikassa ja Ruotsissa. Tutkimustulosten ja HCT-ajoneuvoista saatujen kokemusten perusteella HCT-ajoneuvoilla katsotaan olevan potentiaalia kuljetuskustannusten ja raskaan liikenteen aiheuttamien päästöjen vähentämiseen. Kaikki tavallista suurempien ajoneuvoyhdistelmien vaikutukset eivät kuitenkaan ole tiedossa. Aalto-yliopiston tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten HCT-ajoneuvoyhdistelmät vaikuttavat muuhun liikenteeseen normaalikokoisiin ajoneuvoyhdistelmiin verrattuna. Tarkempia tutkimuskysymyksiä ovat:

- Miten HCT-ajoneuvoyhdistelmät vaikuttavat ohituskäyttäytymiseen?
- Miten HCT-ajoneuvoyhdistelmät vaikuttavat liikenteen jonoutumiseen?
- Miten HCT-ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen liikenteessä eroaa muista yhdistelmästä?

Tutkimusmenetelmänä on käytetty ajoneuvoyhdistelmien ympärillä tapahtuvien asioiden videokuvaamista ja näin syntyneen materiaalin jälkianalysointia. Tutkimusmateriaalia on kerätty kolmella HCT-ajoneuvoyhdistelmällä ja kolmella normaalikokoisella verrokkiyhdistelmällä. Tutkimuksen esiselvitysvaiheen perusteella tutkimusmateriaalia tuottaviksi HCT-ajoneuvoyhdistelmiksi valittiin Ketosen Kuljetus Oy:n raakapuuta Lapissa kuljettava yhdistelmä, Mikko Niskala Oy:n päivittäistavaraa Vantaan ja Kempeleen välillä kuljettava yhdistelmä sekä Orpe Kuljetus Oy:n raakapuuta Saimaan ympäristössä kuljettava yhdistelmä. Ketosen Kuljetus Oy:n ja Mikko Niskala Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmien verrokkiyhdistelminä toimivat kyseisten yritysten normaalkokoiset ajoneuvoyhdistelmät, jotka liikennöivät HCT-ajoneuvoyhdistelmien kanssa samoilla reiteillä. Orpe Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän verrokkiyhdistelmänä toimii Kuljetus Szepaniak Oy:n pääasiassa puuhaketta kuljettava ajoneuvoyhdistelmä, joka liikennöi osittain samalla reitillä Orpe Kuljetus Oy:n yhdistelmän kanssa. Koska kaksikaistaisilla tieosuuksilla kerättävä materiaali todettiin tutkimuksen kannalta mielenkiintoisimmaksi, ei tutkimuslaitteistoa asennettu ensimmäisenä Suomessa liikennöinnin aloittaneisiin HCT-ajoneuvoyhdistelmiin, jotka kuljettavat merikontteja ja joiden reitit sisältävät paljon 2+2-kaistaisia tieosuuksia. Esiselvitysvaihetta ja tutkimukseen valittujen HCT-ajoneuvoyhdistelmien valintakriteerejä on kuvattu tarkemmin

luvussa 5.1. Tutkimuslaitteistolla varustettuja ajoneuvoyhdistelmiä ja niiden reittejä on puolestaan kuvattu tarkemmin luvussa 5.2.

Kuhunkin tutkimuksessa käytetyistä ajoneuvoyhdistelmistä asennettiin tutkimuslaitteisto, jonka pääkomponentteina oli kolme videokameraa ja GPS-paikannin. Ajoneuvoyhdistelmien viimeiseen perävaunuun asennettiin ajoneuvoyhdistelmän taakse kuvaava kamera, vetoautojen kuljettajanpuoleiseen seinään asennettiin yhdistelmän vasemmalle sivulle taaksepäin kuvaava kamera ja ajoneuvojen ohjaamoon asennettiin eteenpäin kuvaava kamera. Kameroiden sijoittamisella mahdollistettiin esimerkiksi ohitustapahtumien kokonaisvaltainen analysointi. GPS-paikantimen avulla voitiin tieto ajoneuvoyhdistelmien nopeudesta ja sijainnista yhdistää kerättyyn videomateriaaliin. Tutkimuslaitteistoa on esitelty tarkemmin luvussa 5.3. Aineistosta saatuja tuloksia on esitetty luvuissa 6–8 ja tuloksia on analysoitu luvussa yhdeksän. Johtopäätökset Aalto-yliopiston tutkimuksesta on esitetty luvussa kymmenen.

Kokonaiskuvan hahmottamiseksi tutkimusprojektin osana tehtiin myös kirjallisuusselvitys, jonka tarkoituksena oli selvittää raskaiden ajoneuvojen kokoa ja sitä määrittelevää lainsäädäntöä Suomessa, raskaiden ajoneuvojen vaikutuksia liikennevirtaan, HCT-kuljetusten tilannetta maailmalla sekä aiempia HCT-ajoneuvoista tehtyjä tutkimuksia. Kirjallisuusselvitys on jaettu kolmeen lukuun siten, että luvussa kaksi on esitelty raskaiden ajoneuvojen mittoja, massoja ja yhdistelmien konfiguraatioita sekä niiden kehitystä Suomessa, luvussa kolme on kuvattu raskaan liikenteen vaikutuksia liikennevirtaan ja luvussa neljä on käyty läpi HCT-kuljetusten ja niistä tehtyjen tutkimusten tilannetta maailmalla.

2 Yhdistelmäajoneuvojen mittoja, massoja ja konfiguraatioita

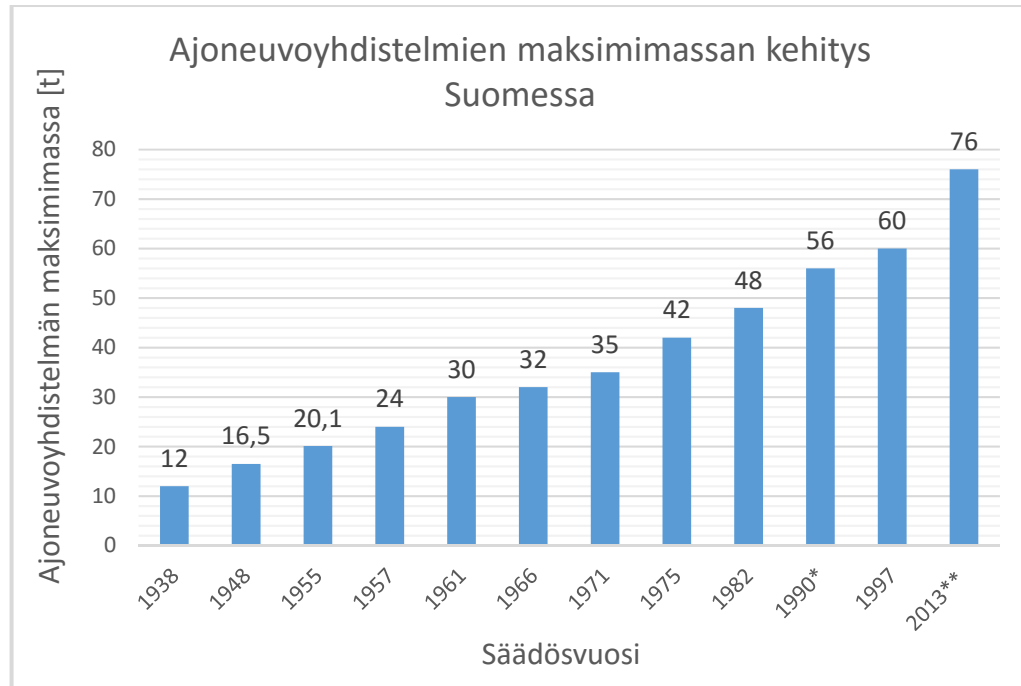
2.1 Yhdistelmäajoneuvojen koon kehitys Suomessa

Ensimmäinen kuorma-auto tuotiin Suomeen vuonna 1905 ja niiden rekisteröinti aloitettiin vuonna 1914, jolloin kuorma-autoja oli Suomessa noin 200 kappaletta (Ojanen 2000). Sata vuotta myöhemmin, vuonna 2014, rekisteröityjä kuorma-autoja tilastoitiin Suomessa 138 077 kappaletta (Tilastokeskus 2015). Teollistumisen myötä ja sen jälkeen elinkeinoelämän edelleen kehittyessä kuljetustarpeet ovat lisääntyneet, ja toisaalta tieverkoston laajeneminen ja laadun parantuminen sekä ajoneuvotekniikan kehittyminen ovat mahdollistaneet paitsi ajoneuvojen määrän kasvun, myös ajoneuvojen massojen ja mittojen kasvamisen. Tieliikenteeseen rekisteröityjen ajoneuvojen enimmäismassat ja -mitat pohjautuvat suomalaiseen lainsäädäntöön, joka on puolestaan harmonisoitu Euroopan unionin lainsäädännön mukaiseksi Suomen EU-jäsenyyden myötä (Ahonen 2015). Tämä luku esittelee yhdistelmäajoneuvojen mittojen ja massojen kehitystä Suomessa sekä nykyisen lainsäädännön mahdollistamia ajoneuvoyhdistelmätyyppejä. Katsaus helpottaa ymmärtämään, miten HCT-ajoneuvoyhdistelmät eroavat tavallisista ajoneuvoyhdistelmistä ja millaisista osista HCT-ajoneuvoyhdistelmiä voidaan muodostaa.

Vuoteen 1922 asti lainsäädännössä ei määritelty kuorma-autojen maksimimassoja, vaan kuorma-autovalmistajat ilmoittivat ajoneuvoilleen rakenteelliset kokonaismassat, jotka olivat yleisesti 1,5 ja 10 tonnin välillä. Vuonna 1922 lainsäätäjät määrittivät autoasetuksen, jonka myötä kuorma-auton suurimmaksi sallituksi kokonaismassaksi määriteltiin 6 tonnia viertoteillä eli luonnonkivillä tai sepelillä päällystetyillä teillä, joita oli käytännössä vain Helsingissä. I-luokan maanteillä enimmäismassa oli 4,5 tonnia ja II-luokan maanteillä 3 tonnia. Moottorilavuuksien kasvettua, akselien määrän lisääntyttyä kahdesta kolmeen–neljään, renkaiden muututtua täyskumisista ilmatäytteisiksi, käyttövoiman vaihduttua bensiinistä dieseliin, tieverkoston kehittyttyä ja ajoneuvorakenteiden muututtua erityistarpeisiin sopivaksi, kuorma-autojen laissa määritetty maksimimassa kasvoi pienin askelin. Vuonna 1938 kolmeakselisen kuorma-auton suurimmaksi sallituksi kokonaismassaksi asetettiin 10,5 tonnia. (Ojanen 2000.)

Samana vuonna määriteltiin ensimmäistä kertaa kuorma-auton ja perävaunun yhdistelmän suurin sallittu massa. Suurimmaksi sallituksi yhdistelmämassaksi asetettiin silloin 12 tonnia. Yhdistelmäajoneuvojen suurimman sallitun kokonaismassan kehitystä kuvaavasta kuvasta 2.1 nähdään, että 20 tonnin raja ylitettiin 1950-luvulla ja vuonna 1961 noustiin jo 30 tonnin kokonaismassaan. Kuorma-auton ja täysperävaunun muodostaman yhdistelmän maksimipituus oli puolestaan vuonna 1960 asetetun lain mukaan 18 metriä ja maksimikorkeus vuodesta 1966 eteenpäin neljä metriä. Vuonna 1975 ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu massa nostettiin 42 tonniin ja maksimipituus 22 metriin. Vuonna 1990 ajoneuvoyhdistelmän maksimimassa asetettiin 56 tonniin ja lisäksi sallittiin vähintään seitsemänakselisille yhdistelmille 60 tonnin kokonaismassa talvikuukausien aikana. Vuonna 1997 astui voimaan Valtioneuvoston käyttöasetuksen muutos 670/1997, jolla otettiin kansallisesti

huomioon EU:n mitta- ja massadirektiivin 96/53/EY vaatimukset. Asetuksessa määriteltiin niin sanottujen moduuliyhdistelmien maksimipituudeksi Suomessa 25,25 metriä ja suurimmaksi sallituksi kokonaismassaksi 60 tonnia vuoden ympäri. Moduuliyhdistelmiä ja mitta- ja massadirektiiviä on kuvattu tarkemmin luvussa 2.5. (Blomberg 1996, EUR-lex 1996, Ojanen 2000.)



Kuva 2.1. Ajoneuvoyhdistelmien suurimpien sallittujen kokonaismassojen kehitys ensimmäisen ja viimeisimmän ajoneuvoyhdistelmien kokonaismassoja koskeneen lainsäädännöllisen muutoksen välillä.

Huomautukset:

*Vuonna 1990 säädettiin yhdistelmien kokonaismassaksi 56 tonnia, mutta talvi-kuukausien aikana kokonaismassa sai kuitenkin olla 60 tonnia. Ympärivuotiseksi enimmäismassaksi 60 tonnia säädettiin vuonna 1997.

**Vuonna 2013 annetun asetuksen muutoksen myötä myös 76 tonnia painavammille HCT-ajoneuvoyhdistelmille voi ehtojen täytyessä saada määräaikaisen poikkeusluvan Liikenteen turvallisuusvirasto Trafilta.

Mitta- ja massadirektiivin ja vuonna 1997 voimaan astuneen ajoneuvojen käyttöä tiellä koskevan valtioneuvoston asetuksen muutoksen jälkeen seuraava suuri muutos sallittuihin massoihin ja mittoihin tapahtui vuonna 2013, jolloin annettiin uusi Valtioneuvoston asetus 407/2013 ajoneuvojen käyttöä tiellä koskevan asetuksen muuttamisesta. Asetuksessa nostettiin ajoneuvojen maksimikorkeus 4,2 metristä 4,4 metriin ja akselien määrästä riippuva yhdistelmän kokonaismassa nostettiin kahdeksanaksellisille yhdistelmille 60 tonnista 64 tonniin ja yhdeksänaksellisille yhdistelmille 60 tonnista 69 tonniin. Mikäli kuitenkin perävaunun tai perävaunujen painosta vähintään 65 prosenttia kohdistuu paripyörällisille akseleille, on kahdeksanaksellisen yhdistelmän maksimimassa 68 tonnia ja yhdeksänaksellisen yhdistelmän maksimimassa 76 tonnia. Seitsemänaksellisten ajoneuvoyhdistelmien kokonaismassaa puolestaan nostettiin väliaikaisesti 60 tonnista 64 tonniin siten, että siirtymäkausi päättyy 30.4.2018. Yhdistelmäajoneuvojen lisäksi myös kuorma-autojen suurimpia sallittuja kokonaismassoja nostettiin. Asetusmuutos mahdollisti myös poikkeusluvan hakemisen edellä mainittuja suuremmille, niin kutsutuille HCT-ajoneuvoyhdistelmille. Poikkeuslupahakemukset

käsittelee ja mahdolliset luvat myöntää Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. HCT-yhdistelmien mittoja, massoja ja konfiguraatioita on esitelty luvussa 2.6. (Finlex 2013.)

On kuitenkin huomattava, että lainsäädännön määrittämät, muun muassa akselien määrästä ja rengastuksesta riippuvat ajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien suurimmat sallitut kokonaismassat eivät ole ainoa massaa ja mittoja rajoittava tekijä. Ajoneuvon tai perävaunun rakenteesta ja suorituskyvystä riippuva, valmistajan määräämä ja rekisteriotteeseen merkitty tieliikenteessä sallittu suurin kokonaismassa on ensisijainen massaa ajoneuvokohtaisesti määräävä tekijä. Myös infrastruktuuri asettaa omat rajoituksensa, jotka näkyvät esimerkiksi painorajoitettuina siltoina ja tieosuuksina sekä matalina alikulkuina. Lisäksi lainsäädännöllä on asetettu reunaehdoja ajoneuvoyhdistelmien vetoauton ja perävaunun massojen suhteelle, ajoneuvolta vaaditun tehon ja ajoneuvon kokonaismassan suhteelle sekä ajoneuvon massan ja ajoneuvon äärimmäisten akseleiden välisen etäisyyden suhteelle.

Yhdistelmäajoneuvojen osien massojen suhdetta säädellään laissa niin, että enintään 22,0-metrisissä yhdistelmissä perävaunun tai perävaunujen kokonaismassa saa olla korkeintaan 1,7-kertainen ja yli 22,0-metrisissä yhdistelmissä korkeintaan 2,5-kertainen vetoauton kokonaismassaan verrattuna. Vetoauton vähimmäistehoa puolestaan säädellään niin, että yli 44 tonnia painavissa yhdistelmissä vetoauton moottorissa tulee olla tehoa vähintään 5 kilowattia tonnia kohden. Yli 60 tonnia painaville yhdistelmille on kuitenkin säädetty määräaikainen, 30.4.2018 asti voimassa oleva poikkeus, jonka mukaan vetoauton tehon tulee olla vähintään 300 kilowattia plus 2,625 kilowattia jokaista 60 tonnin kokonaismassarajan ylittävää tonnia kohden. Neljä- ja viisiakselisten kuorma-autojen sekä yli 44-tonnisten ajoneuvoyhdistelmien äärimmäisten akselien välistä vähimmäisetäisyyttä puolestaan säädellään siltasäännöllä, jonka tarkoituksena on ehkäistä liian suuret pistemäiset rasitukset silloilla. Koska ajoneuvon ja ajoneuvoyhdistelmän kokonaismassaa säädellään useilla lainkohdilla sekä ajoneuvokohtaisilla rajoituksilla, tulee ajoneuvoa kuormattaessa noudattaa kokonaismassaa ensimmäisenä rajoittavaa tekijää ja reittiä suunniteltaessa ottaa huomioon myös tiekohtaiset rajoitukset. (Finlex 2013.)

Luvuissa 2.2–2.6 on kuvattu tarkemmin Suomessa käytössä olevia ajoneuvoyhdistelmätyppejä. Luvuissa 2.2–2.4 on käsitelty enintään 22-metrisiä yhdistelmiä perävaunun akselistorakenteen mukaan jaoteltuna ja luvussa 2.5 on käsitelty yli 22-metrisiä yhdistelmiä eli niin sanottuja moduuliyhdistelmiä. Luvussa 2.6 on puolestaan käsitelty yli 25,25 metriä pitkien ja/tai yli 76 tonnia painavien HCT-ajoneuvoyhdistelmien mahdollisia konfiguraatioita ja dimensioita.

2.2 Vetoauton ja puoliperävaunun yhdistelmä

Puoliperävaunuyhdistelmät koostuvat puoliperävaunun vetoautosta ja puoliperävau-nusta. Vetoautossa on yleensä kaksi tai kolme akselia, joissain tapauksissa useampiakin. Puoliperävaunun vetoauto on lyhyt kuorma-auto, jossa ei itsessään ole kiinteää kuormatilaa. Vetoauto on varustettu vetopöydällä, johon puoliperävaunu kytketään vetotapilla. Puoliperävaunun vetoautossa on joko yksi vetävä akseli tai kahdesta tai useammasta vetävästä akselistä muodostuva vetävä teli. Mikäli autossa on enemmän kuin kaksi akselia, voidaan osa taka-akseleista nostaa esimerkiksi ilman perävaunua ajettaessa ylös, jolloin vierintävastus pienenee, renkaiden kuluminen

vähenee ja ajoneuvo käyttäytyy ketterämmin. Puoliperävaunun vetoauton maksimimassa on kaksiakselisilla vetoautoilla 18 tonnia ja kolmeakselisilla vetoautoilla 26 tonnia. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)

Puoliperävaunussa on useimmiten kaksi tai kolme akselia, jotka kaikki sijaitsevat vaunun takaosassa. Vaunun etuosan aiheuttama pystysuuntainen kuormitus kohdistuu vetoauton taka-akseleille vetopöydän kautta. Puoliperävaunun maksimipituus vetotapista vaunun perään on 12 metriä ja vetotapin pystyakselin keskeltä vaunun etuosan mihin tahansa kohtaan 2,04 metriä. Puoliperävaunun maksimileveys on 2,6 metriä ja suurin sallittu korkeus 4,4 metriä. Kaksiakselisen puoliperävaunun maksimitelimassa on 20 tonnia ja kolmeakselisen puoliperävaunun maksimitelimassa on 24 tonnia. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)

Liittämällä puoliperävaunu vetoautoon saadaan aikaan esimerkiksi kuvan 2.2 kaltainen puoliperävaunuyhdistelmä. Yhdistelmän suurin sallittu pituus on 16,5 metriä, leveys 2,6 metriä ja korkeus 4,4 metriä. Vetoauton ja perävaunun akselien määrästä riippuva yhdistelmän suurin sallittu massa vaihtelee 36 ja 48 tonnin välillä. Puoliperävaunuyhdistelmät ovat suosittuja erityisesti Suomen rajat ylittävässä liikenteessä, sillä puoliperävaunut ovat yleensä standardikokoisia. Lisäksi Suomessa yleisillä 25,25 metriä pitkillä täysperävaunuyhdistelmillä liikennöiminen on sallittua vain harvoissa muissa maissa. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)



Kuva 2.2. Kolmeakselisen vetoauton ja kolmeakselisen puoliperävaunun yhdistelmä.

2.3 Kuorma-auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmä

Keskiakseliperävaunu on jäykällä, niveltämättömällä vetoaisalla varustettu perävaunu, jossa on yleensä kaksi tai kolme akselia. Keskiakseliperävaunun akselisto sijaitsee pituussuunnassa katsottuna perävaunun keskellä perävaunun painopisteessä tai lähellä sitä. Keskiakseliperävaunu aiheuttaa vetoautoon vaakasuuntaisten voimien lisäksi jonkin verran pystysuuntaisia voimia, joita vetoauton vetokytkimen tulee pystyä vastaanottamaan. KytKentäkohtaan kohdistuva pystysuuntainen kuormitus saa olla enintään 1000 kg tai 10 prosenttia keskiakseliperävaunun kokonaismassasta sen mukaan, kumpi arvoista on pienempi. (Finlex 1997, Ahonen 2015.)

Keskiakseliperävaunun suurin sallittu kokonaismassa on kaksiakselisella telillä varustettuna 20 tonnia ja kolme- tai useampiakselisella telillä varustettuna 24 tonnia. Kuorma-auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa on puolestaan 44 tonnia. Kuorma-auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmän suurin sallittu pituus on 18,75 metriä, josta kuormatilojen yhteenlaskettu ulkopituus saa olla enintään 15,65 metriä. Esimerkki kuorma-auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmästä on esitetty kuvassa 2.3. Keskiakseliperävaunu voidaan kiinnittää myös luvussa 2.2 esitettyyn puoliperävaunuyhdistelmään, jolloin saadaan aikaan moduulimittainen yhdistelmä. Erilaisia moduuliyhdistelmiä käsitellään tarkemmin aliluvussa 2.5. (Finlex 2013.)



Kuva 2.3. Kaksiakselisen kuorma-auton ja kaksiakselisen keskiakseliperävaunun muodostama yhdistelmä.

2.4 Kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmä

Keskiakseliperävaunun sijasta kuorma-autoon voidaan kiinnittää myös varsinainen perävaunu eli niin sanottu täysperävaunu. Varsinainen perävaunu eroaa edellisissä aliluvuissa esitellyistä puoliperävaunusta ja keskiakseliperävaunusta siinä, että varsinaisessa perävaunussa on vähintään yksi akseli sekä vaunun etu- että takaosassa. Varsinaisen perävaunun etuakselisto on varustettu kääntökehällä, ja vaunun etuakselistoa käännetään vetoautoon kytketyn aisan avulla. Koska varsinaisessa perävaunussa on sekä etu- että taka-akselisto, vetoautoon ei kohdistu perävaunusta merkittäviä pystysuuntaisia voimia. Varsinaisen perävaunun taka-akselisto koostuu yleensä yhdestä neljään akselistasta ja etuakselistolla akseleita on yksi tai kaksi. Akselirakenteeltaan yleisimpiä täysperävaunutyyppäjä Suomessa ovat neljä- ja viisiakseliset perävaunut, joissa kääntökehällä varustettu etuakselisto muodostuu kahdesta akselistasta ja taka-akselisto kahdesta tai kolmesta akselistasta. Osa perävaunun akseleista voidaan tehdä nostettaviksi, kevennettäviksi, ohjaaviksi tai ohjautuviksi. Ohjaavalla akselilla tarkoitetaan akselia, jonka renkaat kääntyvät ohjauspyörän liikkeen välityksellä. Ohjautuvalla akselilla tarkoitetaan puolestaan akselia, jonka renkaat kääntyvät renkaiden ja tienpinnan välisen kitkan johdosta. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)

Varsinaisen perävaunun suurin sallittu pituus perävaunun perästä etuakseliston kääntöpiisteeseen on enintään 22,0 metriä pitkissä yhdistelmissä 12,5 metriä ja yli 22,0 metriä pitkissä yhdistelmissä 12,0 metriä. Lisäksi etuakseliston kääntöpiisteestä vaakatasossa mitattu etäisyys mihin tahansa etupuolella olevaan perävaunun kohtaan saa olla enintään 2,04 metriä. Suurin sallittu korkeus on puolestaan 4,4 metriä. Enintään 22,0 metriä pitkissä yhdistelmissä perävaunun suurin sallittu leveys on 2,6 metriä ja tätä pidemmissä yhdistelmissä 2,55 metriä. Yli 22,0 metriä pitkissä yhdistelmissä

varsinaisen perävaunun leveys saa kuitenkin olla enintään 2,6 metriä, mikäli vaunu on lämpöeristetty. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)

Varsinaista perävaunua vetävässä kuorma-autossa on yleensä kahdesta viiteen akselia. Osa-akseleista voi olla kevennettäviä tai nostettavia, ja etuakselin lisäksi myös yksi tai useampi taka-akseli voidaan tehdä ohjaavaksi tai ohjautuvaksi. Kuorma-auton maksimikokonaismassa riippuu muun muassa akselien määrästä, jousitustyyppistä sekä siitä, onko autossa yksikkö- vai paripyörät. Kuorma-auton suurin sallittu kokonaismassa vaihtelee kaksiakselisen kuorma-auton 18 tonnista viisiakselisen kuorma-auton 42 tonniin. Kuorma-auton suurin sallittu pituus on 12,0 metriä ja korkeus 4,4 metriä. Kuten varsinaisen perävaunun tapauksessa, kuorma-auton suurin sallittu leveys on enintään 2,0 metriä pitkissä yhdistelmissä 2,6 metriä ja tätä pidemmissä yhdistelmissä 2,55 metriä, ellei kuormatila ole lämpöeristetty. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)

Yhdistämällä kuorma-auto ja varsinainen perävaunu saadaan aikaan niin sanottu täysperävaunuyhdistelmä. Kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmän suurin sallittu pituus on 25,25 metriä. Yli 22,0 metriä pitkät ajoneuvoyhdistelmät luokitellaan moduuliyhdistelmiksi, joita käsitellään tarkemmin luvussa 2.5. Täysperävaunuyhdistelmän suurin sallittu massa riippuu muun muassa kuorma-auton ja perävaunun akselistorakenteesta, vetävien akselien määrästä ja massan jakautumisesta paripyörällisten ja yksikköpyörällisten akselien kesken. Esimerkiksi kaksiakselisen kuorma-auton ja kaksiakselisen perävaunun yhdistelmän suurin sallittu massa on 36 tonnia, kun taas kolmeakselisen vetoauton ja kolmeakselisen varsinaisen perävaunun yhdistelmän suurin sallittu massa on 53 tonnia. Kuvassa 2.4 on esimerkki neljäakselisen kuorma-auton ja kolmeakselisen varsinaisen perävaunun muodostamasta enintään 60 tonnin yhdistelmästä. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)



Kuva 2.4. Neljäakselisen kuorma-auton ja kolmeakselisen varsinaisen perävaunun yhdistelmä.

2.5 Moduuliyhdistelmät (European Modular System)

Euroopan Unionin direktiivissä 96/53/EY (1996) säädettiin EU-maiden välisessä liikenteessä puoliperävaunun kuormatilan maksimipituudeksi 13,6 metriä ja kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmän kuormatilojen yhteenlasketuksi maksimipituudeksi 15,65 metriä. Käytännössä kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmissä molempien kuormatilojen pituus rajoitettiin siis 7,82 metriin.

Direktiiviin jätettiin kuitenkin jousto, joka mahdollisti jäsenvaltioiden sallivan kansallisessa liikenteessään tätäkin suurempia ajoneuvoja ja ajoneuvoyhdistelmiä, kunhan yhdistelmät muodostuisivat direktiivissä 96/53/EY määritellyistä, niin sanotusti moduulimittaisista osista. Mikäli direktiiviin ei olisi määritelty kyseistä joustoa, olisi vuonna 1995 EU:hun liittyneiden Suomen ja Ruotsin sisäinen kuljetustehokkuus laskenut merkittävästi, sillä näissä maissa pitkien ajoneuvoyhdistelmien käyttöön oli totuttu. Toisaalta direktiivissä määritelty vaatimus siitä, että kuormatilojen edellä mainitut maksimipituudet ylittävä yhdistelmä on koottava standardoiduista, moduulimittaisista osista esti suomalaisia ja ruotsalaisia kuljetusyrittäjiä saamasta merkittävää kilpailuetua kansallisessa liikenteessä muualta EU:sta tuleviin toimijoihin nähden. (Jonsson & Åkerman 2007.)

Direktiivin 96/53/EY sisältämän jouston mahdollistamia, EU-maiden välisessä liikenteessä sallittuja yhdistelmäajoneuvoja suurempia, moduulikokoisista osista koottuja ajoneuvoyhdistelmiä kutsutaan moduuliyhdistelmiksi. Moduulijärjestelmä tunnetaan englanninkielisellä nimellä European Modular System (EMS). Direktiivissä ei ole määritelty moduulimittaisista osista koottujen yhdistelmäajoneuvojen maksimimittoja, vaan ne määritellään kunkin maan kansallisessa lainsäädännössä. Suomessa ja Ruotsissa ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu pituus on 25,25 metriä. Käytännössä 25,25 metriä pitkä yhdistelmä voidaan muodostaa EMS-standardin mukaisista osista kolmella eri tavalla käyttäen yhtä pitkää (maksimissaan 13,6 m) ja yhtä lyhyttä (maksimissaan 7,82 m) kuormatilaa. (Jonsson & Åkerman 2007.)

Ensimmäinen tapa on liittää 7,82 metrin kuormatilan omaavaan kuorma-autoon 13,6 metrin kuormatilan omaava täysperävaunu. Täysperävaunun kaltainen yksikkö voidaan muodostaa myös 13,6 metrin kuormatilan omaavasta puoliperävaunusta ja kuvassa 2.5 nähtävästä apuvaunusta eli dollysta, joka on vetopöydällä varustettu keskiakseliperävaunu. Kuorma-autosta ja varsinaisesta perävaunusta tai kuorma-autosta, apuvaunusta ja puoliperävaunusta muodostetun 25,25 metriä pitkän ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa on 76 tonnia. Se voidaan saavuttaa, kun yhdistelmässä on vähintään yhdeksän akselia, vähintään 65 prosenttia perävaunun massasta kohdistuu paripyöräisille akseleille ja vähintään 20 prosenttia yhdistelmän kokonaismassasta kohdistuu vetäville akseleille. Esimerkki kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun muodostamasta moduuliyhdistelmästä on esitetty kuvassa 2.6. (Jonsson & Åkerman 2007, Finlex 2013.)



Kuva 2.5. Kuorma-auto vetää apuvaunua eli dollya, joka on vetopöydällä varustettu keskiakseliperävaunu. Apuvaunuun voidaan kiinnittää puoliperävaunu, jolloin saadaan aikaan varsinaisen perävaunun kaltainen aisasta vedettävä yksikkö.



Kuva 2.6. Ensimmäinen EMS-ajoneuvoyhdistelmä koostuu kuorma-autosta ja varsinaisesta perävaunusta. Varsinaisen perävaunun sijasta voidaan kuorma-autoon liittää myös apuvaunusta eli dollysta ja puoliperävaunusta muodostettu varsinaisen perävaunun kaltainen yksikkö.

Toinen mahdollinen tapa 25,25 metriä pitkän moduuliyhdistelmän muodostamiseksi on kiinnittää puoliperävaunun vetoautoon 13,6 metrin pituisen kuormatilan omaava puoliperävaunu sekä sen perään 7,82 metrin pituisen kuormatilan omaava keskiakseliperävaunu. Kolmeakselisen puoliperävaunun vetoauton, kolmeakselisen puoliperävaunun ja kaksiakselisen keskiakseliperävaunun suurin sallittu kokonaismassa on 68 tonnia, mikäli vähintään 65 prosenttia perävaunujen massasta kohdistuu paripyörällisille akseleille. Esimerkki vetoauton, puoliperävaunun ja keskiakseliperävaunun muodostamasta moduuliyhdistelmästä on esitetty kuvassa 2.7. (Jonsson & Åkerman 2007, Finlex 2013.)



Kuva 2.7. Toinen mahdollinen EMS-ajoneuvoyhdistelmä koostuu vetoautosta, puoliperävaunusta ja keskiakseliperävaunusta.

Kolmas mahdollinen tapa 25,25 metriä pitkän moduuliyhdistelmän muodostamiseksi on liittää puoliperävaunun vetoautoon kaksi puoliperävaunua. Vetoautoon kiinnitettävä puoliperävaunu on tällöin niin sanottu linkkivaunu, jonka taka-akseliston päällä on vetopöytä, johon toinen puoliperävaunu kiinnitetään. Tätä yhdistelmätyyppiä kutsutaan nimillä B-moduuli tai B-juna. Kolmeakselisen vetoauton, kolmeakselisen linkkivaunun ja kolmeakselisen puoliperävaunun muodostaman yhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa on 76 tonnia, mikäli vähintään 65 prosenttia perävaunujen massasta kohdistuu paripyörällisille akseleille ja vähintään 20 prosenttia yhdistelmän kokonaismassasta kohdistuu vetäville akseleille. Esimerkki vetoauton, linkkivaunun ja puoliperävaunun muodostamasta moduuliyhdistelmästä on esitetty kuvassa 2.8. (Jonsson & Åkerman 2007, Finlex 2013.)



Kuva 2.8. Kolmas mahdollinen EMS-yhdistelmä koostuu vetoautosta, linkkivaunusta kutsutusta vetopöydällisestä puoliperävaunusta sekä tavallisesta puoliperävaunusta. Yhdistelmää kutsutaan mm. B-junaksi.

EMS-järjestelmän edut korostuvat esimerkiksi satamista Suomeen tulevassa liikenteessä. Meriteitse saapuva puoliperävaunu voidaan noutaa tavallisella puoliperävaunun vetoautolla, kuorma-auton ja apuvaunun yhdistelmällä tai vetoauton ja linkkivaunun yhdistelmällä. Tämä lisää kuljetusten joustavuutta ja tehokkuutta, kun samalla ajoneuvoyhdistelmällä voidaan kuljettaa puoliperävaunun lisäksi tarvittaessa muitakin. Vastaavasti vientiliikenteessä satamaan voidaan viedä yhdellä yhdistelmällä esimerkiksi yksi lyhyt ja yksi pitkä kontti, jotka vastaanottajamaassa kuljetetaan kahdella eri ajoneuvoyhdistelmällä. Lisäksi standardimittaiset kuljetusyksiköt helpottavat intermodaalisuuden lisäämistä, sillä esimerkiksi puoliperävaunulla voidaan kuljettaa kaksi 20 jalan merikonttia tai yksi 40 tai 45 jalan merikontti. Suurimmassa osassa muuta Eurooppaa kuljetukset hoidetaan joko yhdellä pitkällä kuljetusyksiköllä (puoliperävaunuyhdistelmä) tai kahdella lyhyellä kuljetusyksiköllä (7,82 metrin kuormatilan omaavalla kuorma-autolla ja siihen liitetyllä 7,82 metrin kuormatilan omaavalla perävaunulla). Koska EMS-järjestelmän mukainen yhdistelmä voi kuljettaa yhden pitkän ja yhden lyhyen kuljetusyksikön, voidaan kahdella moduuliyhdistelmällä kuljettaa kolmea eurooppalaista standardiyhdistelmää vastaava määrä kuljetusyksiköitä. (Jonsson & Åkerman 2007, Ahonen 2015.)

Suomen lisäksi 25,25 metriä pitkällä moduuliyhdistelmillä liikennöinti on sallittua Ruotsissa. Maiden lainsäädäntö ei kuitenkaan ole täysin yhteneväinen, sillä Suomessa sallituilla 13,6-metriä pitkällä varsinaisilla perävaunuilla ei voida liikennöidä Ruotsissa. Ruotsin lainsäädännön mukaan 13,6 metriä pitkä varsinaisen perävaunun kaltainen perävaunu voidaan kuitenkin muodostaa puoliperävaunusta apuvaunun avulla. Kuorma-autosta ja varsinaisesta perävaunusta muodostetun ajoneuvoyhdistelmän maksimipituus Ruotsissa on 24,0 metriä. Alankomaissa, Norjassa, Tanskassa ja Saksassa moduuliyhdistelmillä voidaan liikennöidä rajoitetulla tieverkolla, mutta ne ovat huomattavasti harvinaisempia kuin Suomessa ja Ruotsissa. (Jonsson & Åkerman 2007.)

2.6 Poikkeusluvan vaativat HCT-ajoneuvoyhdistelmät

Kuten luvussa 2.1 esitettiin, Suomen voimassa oleva lainsäädäntö määrittelee ajoneuvoyhdistelmän maksimipituudeksi 25,25 metriä ja suurimmaksi sallituksi massaksi 76 tonnia. Vuonna 2013 annetulla ajoneuvojen käyttöasetuksen muutoksella 407/2013 tuli kuitenkin mahdolliseksi hakea Liikenteen turvallisuusvirasto Trafilta poikkeuslupaa tätäkin suuremmille yhdistelmäajoneuvoille. HCT (High Capacity

Transport) -yhdistelmillä tarkoitetaan yhdistelmäajoneuvoja, joiden massa tai pituus tai molemmat yhtäaikaaisesti ylittävät lainsäädännössä mainitut enimmäisarvot, mutta joita ei kuitenkaan luokitella erikoiskuljetusajoneuvoiksi. Poikkeuslupan saamisen ehtoina mainitaan, että poikkeuslupaa anotaan uuden tekniikan kokeilemisen, tuotekehityksen tai muun erityisen syyn vuoksi. Poikkeuslupan myöntäminen ei saa myöskään aiheuttaa vaaraa liikenneturvallisuudelle tai vääristää kilpailua. Poikkeuslupahakemuksessa tulee tarkkaan ilmoittaa, mihin poikkeuslupaa haetaan ja mikä luvan hakemisen syy on. Lisäksi hakemuksesta tulee selkeästi ilmetä kokeilun sisältö, tavoitteet ja laajuus tieverkolla. (Finlex 2013, Trafi 2016a.)

Käytännössä poikkeuslupan saamiseksi ajoneuvoyhdistelmältä ei siis edellytetä tietynlaista konfiguraatiota, vaan sallittujen akselipainojen rajoissa, liikennöintireitin rajoitukset huomioon ottaen ja yhdistelmän suunnitellusta käyttökohteesta riippuen tavallista suurempi HCT-yhdistelmä voidaan rakentaa hyvinkin erilaisista osista. Valtaosassa Suomessa nyt käytössä olevista HCT-yhdistelmistä on kaksi perävaunua ja vähintään 11 akselia. Osa HCT-ajoneuvoyhdistelmistä on suunniteltu niin, että niiden osat ovat standardimittaisia ja siten yhteensopivia kuljetusjärjestelmän muiden ajoneuvojen kanssa, kun taas osassa HCT-yhdistelmistä esimerkiksi puoliperävaunut ovat standardimitoista poikkeavia ja kyseiseen kuljetustehtävään ja ajoneuvoyhdistelmään räätälöityjä. Useissa HCT-yhdistelmistä on vetoauton etuakselin lisäksi muitakin ohjaavia tai ohjautuvia akseleita kääntyvyysominaisuuksien parantamiseksi. Lisäksi HCT-ajoneuvoissa on usein turvallisuutta parantavia ja esimerkiksi liukkaalla kelillä ajamista helpottavia varusteita. (Trafi 2016a, Trafi 2016b.)

Tavallista suurempi ajoneuvoyhdistelmä voidaan muodostaa esimerkiksi lisäämällä normaalipituiseen puoliperävaunuyhdistelmään varsinainen perävaunu tai toinen puoliperävaunu apuvaunun avulla (kuva 2.9). Mahdollista on myös käyttää vetoauton perässä vetopöydällä varustettua pitkää linkkivaunua, jonka päälle toinen puoliperävaunu kytketään (kuva 2.10). Tavallista pidempi yhdistelmä saadaan aikaan myös, kun kuorma-autoon kytketään apuvaunu, vetopöydällinen puoliperävaunu sekä tavallinen puoliperävaunu (kuva 2.11). Yli 25,25 metriä pitkä ajoneuvoyhdistelmä voidaan muodostaa myös esimerkiksi kuorma-autosta ja kahdesta keskiakseliperävaunusta (kuva 2.12). HCT-yhdistelmä saadaan aikaan myös liittämällä kuvassa 2.8 esitetyn B-junan perään keskiakseliperävaunu. Suomessa on liikenteessä myös noin 25 metriä pitkiä viisiakselisen kuorma-auton ja viisiakselisen varsinaisen perävaunun muodostamia puutavarayhdistelmää, joiden suurin sallittu kokonaismassa on 84 tonnia. (Jonsson & Åkerman 2007, Trafi 2016b.)



Kuva 2.9. Havainnekuva puoliperävaunun vetoautosta, puoliperävaunusta, apuvaunusta ja toisesta puoliperävaunusta muodostetusta HCT-ajoneuvoyhdistelmästä. Apuvaunun ja taaimmaisesta puoliperävaunun muodostama yksikkö voidaan myös korvata varsinaisella perävaunulla. (Jonsson & Åkerman 2007.)



Kuva 2.10. Havainnekuva puoliperävaunun vetoautosta, vetopöydällä varustetusta pitkästä puoliperävaunusta eli linkkivaunusta sekä toisesta puoliperävaunusta muodostetusta HCT-ajoneuvoyhdistelmästä (Jonsson & Åkerman 2007.)



Kuva 2.11. Havainnekuva kuorma-autosta, apuvaunusta, vetopöydällä varustetusta puoliperävaunusta eli linkkivaunusta sekä toisesta puoliperävaunusta muodostetusta HCT-ajoneuvoyhdistelmästä (Von Hofsten & Funck 2015.)



Kuva 2.12. Havainnekuva kuorma-autosta ja kahdesta keskiakseliperävaunusta muodostetusta HCT-ajoneuvoyhdistelmästä (Jonsson & Åkerman 2007.)

Vuoden 2016 joulukuun alkuun mennessä Suomessa liikennöinnin aloittaneet yli 25 metriä pitkät ja/tai yli 76 tonnia painavat HCT-ajoneuvoyhdistelmät ovat pituudeltaan 25–34,5-metrisiä ja suurimmalta sallitulta kokonaismassaltaan 68–104-tonnisia. Käyttökohteet vaihtelevat konttikuljetuksista raakapuukuljetuksiin ja kappale- ja päivittäistavarakuljetuksista sementtikuljetuksiin. Trafi on myöntänyt poikkeusluvan myös neljälle tavallista pidemmälle ja raskaammalle vetoauton ja puoliperävaunun yhdistelmälle. Näiden yhdistelmien pituus vaihtelee 20–23 metrin välillä ja kokonaismassa 60–67 tonnin välillä. Lisäksi Trafin käsittelyyn tulee uusia poikkeuslupahakemuksia, joten tulevaisuudessa nähdään mahdollisesti myös muunlaisia HCT-ajoneuvoyhdistelmiä yhä monipuolisemmin erilaisissa kuljetustehtävissä. Tämän tutkimuksen kohteena olevia kolmea HCT-ajoneuvoyhdistelmää on kuvattu tarkemmin viidennessä luvussa. Ruotsissa käytössä olevia HCT-yhdistelmiä on kuvattu tarkemmin luvussa neljä. (Trafi 2016a, Trafi 2016b.)

3 Raskaiden ajoneuvojen vaikutukset liikennevirtaan

3.1 Raskaat ajoneuvot liikennevirrassa

Liikennevirran ominaisuuksista tärkeimpinä voidaan pitää liikennemäärää, liikenteen ajoneuvokoostumusta, suuntajakaumaa, ajoneuvojen nopeuksia, liikennetiheyttä, jonnemuodostusta sekä ajoneuvojen aikavälejä (Pesu 1996). Liikennevirran ominaisuuksiin vaikuttavat niin väylään, liikennevirran muodostaviin ajoneuvoyksiköihin ja niiden kuljettajiin kuin esimerkiksi säähän ja ajokeliin liittyvät tekijät (Lehtonen 2008). Koska liikenteeseen vaikuttavia tekijöitä on samanaikaisesti useampia, yksiselitteisten vuorovaikutussuhteiden havaitseminen ja niiden teoreettinen kuvaaminen on haasteellista. Kuvaavaa onkin, että raskaan liikenteen vaikutuksia liikennevirtaan käsitelleet tutkimukset ovat päätyneet osittain ristiriitaisiin tuloksiin. Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi joitakin liikennevirran kuvaamiseen käytettyjä menetelmiä ja peruseräitä sekä sitä, millaisia vaikutuksia raskailla ajoneuvoilla ja niiden määrällä on liikennevirtaan ja mistä vaikutukset johtuvat. Raskaalla ajoneuvolla tarkoitetaan tässä yhteydessä kuorma-autoja, ajoneuvoyhdistelmiä sekä linja-autoja.

Kuorma-autojen liikennesuorite Suomessa vuoden 2014 aikana oli noin 3,3 miljardia ajoneuvokilometriä, kun taas linja-autojen liikennesuorite oli noin 580 miljoonaa ajoneuvokilometriä. Liikennesuoritteiden perusteella voidaankin olettaa, että kuorma-autot ja ajoneuvoyhdistelmät aiheuttavat pääosan raskaiden ajoneuvojen vaikutuksista liikennevirtaan. Vertailun vuoksi todettakoon, että henkilöautojen liikennesuorite vuonna 2014 oli 28,8 miljardia ajoneuvokilometriä ja pakettiautojen liikennesuorite noin 3,9 miljardia ajoneuvokilometriä. (Liikennevirasto 2015c.)

Yhdysvaltalaisista Highway Capacity Manualia pidetään välityskykytarkastelujen perusteoksena ympäri maailmaa. HCM:n uusimmassa, vuonna 2010 julkaistussa painoksessa raskaiden ajoneuvojen kuvataan vaikuttavan liikennevirtaan kahdella tavalla. Koska raskaat ajoneuvot ovat henkilöautoja suurempia, vaativat ne enemmän tietilaa. Toisaalta niiden toiminnalliset ominaisuudet eroavat henkilöautoista, sillä esimerkiksi kiihtyvyys ja hidastuvuus ovat raskailla ajoneuvoilla henkilöautoja heikompia. Tästä johtuen raskaat ajoneuvot eivät pysty pitämään samaa nopeutta henkilöautojen kanssa, vaan nopeudet hidastuvat esimerkiksi nousuissa huomattavasti. Liikennevirrassa raskaiden ajoneuvojen eteen muodostuu välejä, jolloin tietilan käyttö ei ole tehokasta. Nopeammin ajavat ajoneuvot pyrkivät täyttämään liikennevirran välejä ohituksilla, mutta niiden toteuttaminen riippuu tieverkolla olevista ohitusmahdollisuuksista. (Pesu 1996, Lehtonen 2008, TRB 2010.)

Suuremman tilantarpeen ja huonomman suorituskyvyn lisäksi raskailla ajoneuvoilla on psykologisia vaikutuksia muiden ajoneuvojen kuljettajien ajokäyttäytymiseen ja heidän kokemaansa ajomukavuuteen. Summala et al. (2003) havaitsivat tutkimuksessaan, että kuljettajalle on kuormittavampaa kohdata raskas ajoneuvo kuin henkilöauto. Osa kuljettajista esimerkiksi muuttaa ajonopeuttaan kohdatessaan vastaantulevan raskaan ajoneuvon. Mikäli ajoneuvo saavuttaa edellä ajavan raskaan ajoneuvon, osa kuljettajista jää sen taakse jonoan vieroksuen henkilöauton ohittamiseen verrattuna pidempää ohitusmatkaa. (Summala et al. 2003.)

Liikennetekniikassa raskaiden ajoneuvojen määrä otetaan usein huomioon henkilöautoekvivalentin avulla. Liikennetilanteesta, tien mäkisyydestä ja ajoneuvon tarkemmasta ajoneuvoluokasta riippuen raskaalle ajoneuvolle käytetään erilaisia vastaavuuskertoimia. Esimerkiksi kaksikaistaisella, pituusleikkaukseltaan tasaisella tiellä ja palvelutasoluokassa A yksi kuorma-auto vastaa suomalaisen laskentaohjeen mukaan 2,0 henkilöautoa, kun taas hyvin mäkisellä osuudella yksi kuorma-auto vastaa 5,5 henkilöautoa. Muuttamalla vastaavalla tavalla myös linja-autojen ja nopeusrajoitettujen ajoneuvojen määrät omilla vastaavuuskertoimillaan henkilöautoyksiköiksi, voidaan ajoneuvokoostumuksiltaan erilaisia liikennevirtoja vertailla keskenään. (Pesu 1996.) Henkilöautoekvivalentin käyttöä liikennevirta-analyysissä voidaan kuitenkin jossain määrin kritisoida, sillä se ei pysty kuvaamaan raskaiden ajoneuvojen toiminnallisia eroavaisuuksia henkilöautoihin nähden. Esimerkiksi jyrkässä, pitkässä nousussa raskaan yhdistelmän nopeus putoaa ryömintävauhtiin, kun taas vastaavuuskertoimen avulla laskettu määrä henkilöautoja pystyy ajamaan jyrkänkin nousun menettämättä juurikaan nopeuttaan. Esimerkiksi simuloinneissa liikennevirran todellinen ajoneuvokoostumus voidaan kuitenkin säilyttää. (Marlina 2012.)

3.2 Nopeudet

Eräs tien liikennöitävyysominaisuus on keskimääräinen matkanopeus, joka saadaan jakamalla tieosan pituus ajoneuvojen keskimääräisellä matka-ajalla. Yhtenä ajoneuvojen nopeuksiin vaikuttavana tekijänä pidetään raskaiden ajoneuvojen osuutta liikennemäärästä. Raskaat ajoneuvot yleensä laskevat liikenteen keskimääräisiä nopeuksia, mutta vaikutuksen suuruus riippuu useista tekijöistä, joita ovat muun muassa raskaiden ajoneuvojen ja muun liikenteen määrä, raskaiden ajoneuvojen ja muiden ajoneuvojen tavoitenopeedet, mäkisyys, raskaiden ajoneuvojen saavutettavissa oleva nopeus sekä ohitusmahdollisuuksien määrä. Kuljettajien tavoitenopeuksiin vaikuttavat muun muassa nopeusrajoitukset, tiegeometria, sääolosuhteet, matkaan ja sen tarkoitukseen liittyvät tekijät, ajoneuvon ominaisuudet, kuljettajan ominaisuudet sekä yleiset olosuhteet liikenteessä. (McLean 1989.) Ajoneuvojen saavutettavissa olevaan nopeuteen puolestaan vaikuttavat muun muassa tieolosuhteet ja ajoneuvon tehopainosuhte, jolla tarkoitetaan ajoneuvon moottorin tehon suhdetta ajoneuvon kokonaispainoon. Tehopainosuhte riippuu siten ajoneuvon kuormausasteesta. Raskaiden ajoneuvojen saavutettavissa oleva nopeus on yleensä alhaisempi kuin henkilöautoilla, sillä niiden tehopainosuhte on heikompi. (Lehtonen 2008.) Ryömintänopeudeksi kutsuttu suurin nopeus, jonka raskas ajoneuvo pystyy ylläpitämään nousussa, riippuu nousun jyrkkyydestä ja auton tehopainosuhteesta. Tiekohtaisten nopeusrajoitusten lisäksi joillekin ajoneuvotyypeille on määritelty suurimpia ajoneuvokohtaisia nopeusrajoituksia. Kuorma-autojen ajoneuvokohtainen nopeusrajoitus on Suomessa 80 km/h, ja nopeus on yleensä teknisesti rajoitettu enintään noin 90 kilometriin tunnissa. (Jakonen 1991.) Myös peräkärryllisten henkilö- ja pakettiautojen ajoneuvokohtainen nopeusrajoitus on 80 km/h. Linja-autojen ajoneuvokohtainen suurin sallittu nopeus on 80 tai 100 km/h riippuen auton ominaisuuksista. (Finlex 1992.)

Yksittäisten ajoneuvojen nopeudet ovat merkittäviä, sillä niistä muodostuu liikennevirran nopeusjakauma. Nopeusjakauma puolestaan vaikuttaa esimerkiksi jonoutumiseen ja ohitusten esiintymistiheyteen. Koska ajoneuvojen nopeudet liikennevirrassa vaihtelevat erisuuruisista tavoitenopeuksista ja saavutettavissa olevista nopeuksista johtuen, saavuttavat nopeammin ajavat ajoneuvot hitaampia. Tällöin syntyy ohitus-tarve, joka voidaan tilanteen salliessa purkaa ohittamalla edellä ajava ajoneuvo välittömästi. Mikäli ohittaminen välittömästi ei ole mahdollista, on hitaamman ajoneuvon

saavuttaneen ajoneuvon jättävä tämän taakse odottamaan sopivaa ohitustilaisuutta. Hitaamman ajoneuvon takana jonottavan ajoneuvon nopeus laskee kuljettajan tavoite-nopeutta alhaisemmaksi, mikä puolestaan vaikuttaa liikennevirran nopeusjakaumaan. Nopeusjakauman muututtua myös liikennevirrassa esiintyvän ohitustarpeen suuruus muuttuu edelleen. (Luttinen 2001, Kallberg 1980.) Wardrop (1952) on esittänyt teoreettisen ohitustarpeen laskemiseksi yleisesti käytetyn kaavan:

$$N = \frac{q^2 \sigma_s}{\bar{v}_s \sqrt{\pi}} \quad (3.1)$$

missä \bar{v}_s = matkajakauman keskinopeus (km/h)

σ_s = matkajakauman keskihajonta (km/h)

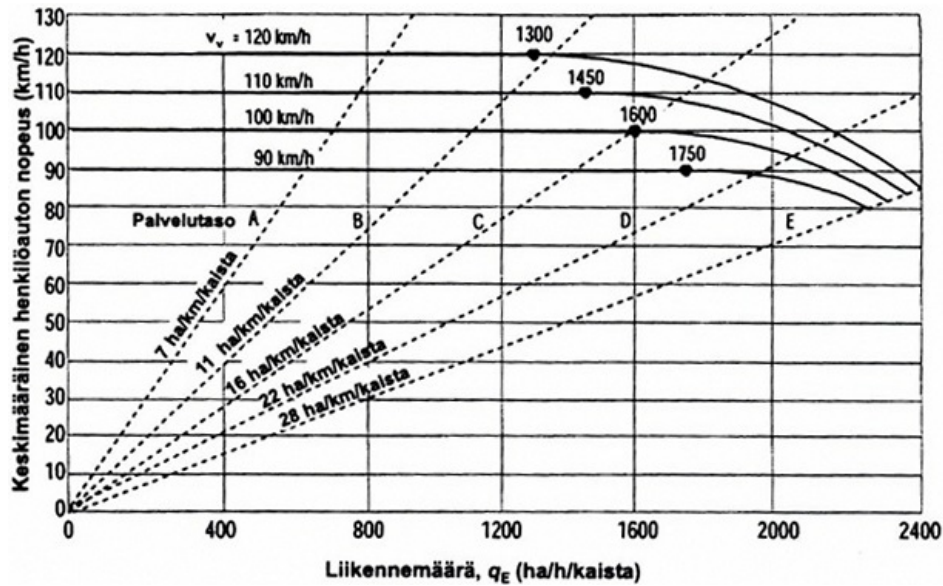
q = tutkitun suunnan liikennemäärä (ajon/h).

Kaavasta nähdään, että ohitustarve on suoraan verrannollinen matkajakauman keskihajontaan: mitä homogeenisempi nopeusjakauma on, sitä pienempi on teoreettisesti laskettu ohitustarve. Kaavan 3.1 oletuksina on, että ajoneuvojen tavoitenopeudet ovat normaalijakautuneita ja että kaikki ohitukset suoritetaan välittömästi. Se ei siis kuvaa täysin realistisesti todellista tilannetta, jossa ohittaminen ei aina ole mahdollista ja jossa osa kuljettajista ei välttämättä edes pyri ohittamaan hitaammin ajavaa ajoneuvoa. (Luttinen 2001.)

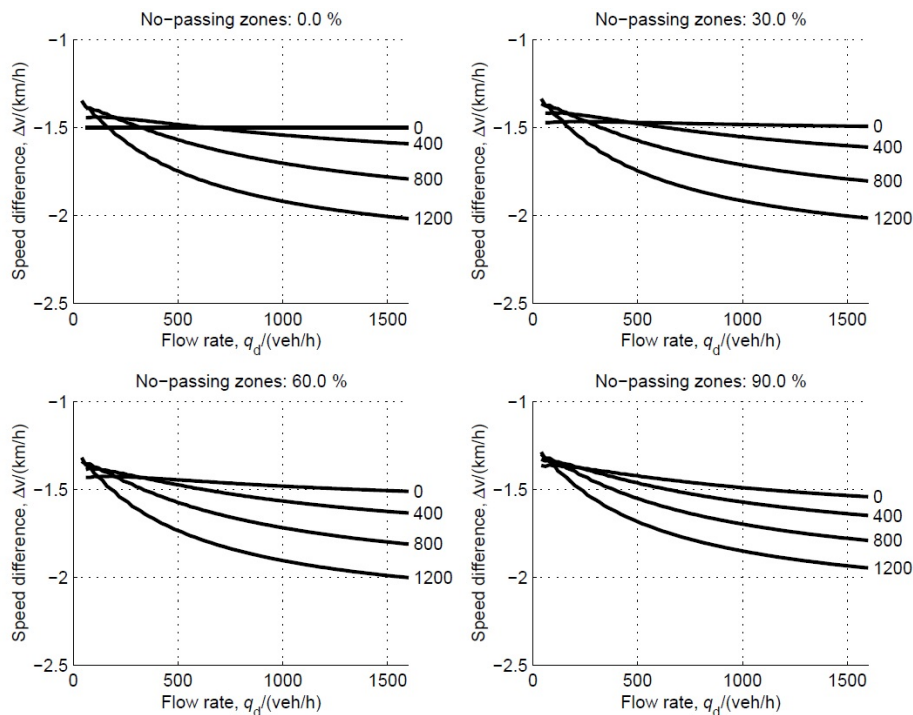
Ajoneuvojen nopeudet puolestaan riippuvat muun muassa tien kokonaisliikennemäärästä. Mitä enemmän tiellä on liikennettä, sitä enemmän muut ajoneuvot vaikuttavat yksittäisen ajoneuvon nopeuteen. Liikennemäärän vaikutusta henkilöautojen keskinopeuksiin moottoriteillä on kuvattu kuvassa 3.1. Liikennemäärän vaikutus korostuu geometrialtaan huonommilla teillä, joilla myös raskas liikenne vaikuttaa nopeuksiin geometrialtaan parempia väyliä enemmän. (Pesu 1996.) McLeanin (1989) mukaan raskaiden ajoneuvojen vaikutus on suurin, kun liikennemäärät ovat kohtalaisia, tien tarjoamat ohitusmahdollisuudet vähäisiä ja tien pituuskaltevuudet suuria. Raskaat ajoneuvot vaikuttavat muiden ajoneuvojen nopeuksiin vähemmän, kun liikennemäärät ovat pieniä ja tie tarjoaa ohitusmahdollisuuksia tiheästi. Tällöin nopeammat ajoneuvot saavuttavat hitaampia ajoneuvoja harvoin ja raskaiden ajoneuvojen aiheuttamat viivytykset ovat pieniä. Kun liikennemäärät ovat lähellä tien välityskykyä, raskaiden ajoneuvojen vaikutus muiden ajoneuvojen nopeuksiin riippuu tien mäkisyydestä. Mäkisellä tiellä, jolla ei ole runsaasti ohitusmahdollisuuksia, raskaat ajoneuvot hidastavat muita ajoneuvoja merkittävästi. Tasaisella tieosuudella raskaiden ajoneuvojen vaikutus muiden ajoneuvojen nopeuksiin on sen sijaan pieni, sillä ajoneuvojen nopeudet hidastuvat joka tapauksessa. Kuva 3.2 esittää raskaiden ajoneuvojen vaikutusta liikennevirran keskimääräiseen matkanopeuteen kaksikaistaisilla teillä erisuuruksilla vastaantulevan liikenteen määrällä. Kuva havainnollistaa myös, miten ohituskieltoalueiden määrä vaikuttaa raskaiden ajoneuvojen aiheuttamaan keskimääräisen matkanopeuden alenemaan. Neljä eri kuvaajaa kuvaa tilanteita, joissa ohituskieltoalueita on 0 %, 30 %, 60 % ja 90 % tien kokonaispituudesta. (Luttinen 2001.)

Liikennemäärän ja ohituskieltoalueiden määrän lisäksi myös nopeusrajoitus vaikuttaa siihen, kuinka merkittävästi raskaat ajoneuvot vaikuttavat muiden ajoneuvojen nopeuksiin. Tätä on esitetty kuvassa 3.3, joka kuvaa, millainen vaikutus erisuuruksilla raskaiden ajoneuvojen suhteellisilla osuuksilla on henkilöautojen keskinopeuksiin nopeusrajoitusalueilla 80 km/h ja 100 km/h. Kuvasta nähdään, että raskaiden ajoneuvojen vaikutus henkilöautojen keskinopeuteen on suurempi, kun nopeusrajoitus on

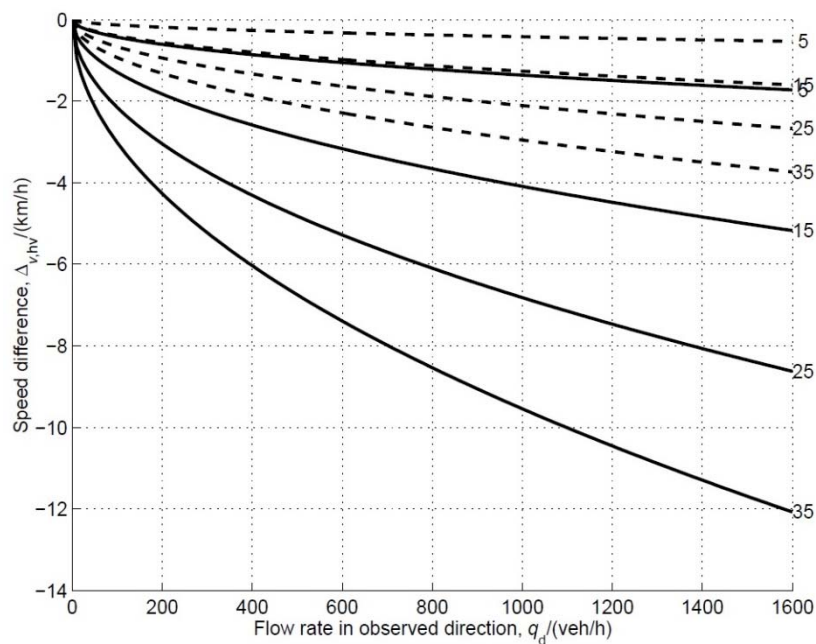
100 km/h. Lisäksi kuvasta nähdään, että henkilöautojen keskinopeudet laskevat sitä enemmän, mitä suurempi raskaiden ajoneuvojen suhteellinen osuus on. (Luttinen 2001.)



Kuva 3.1. Kaistakohtaisen liikennemäärän vaikutus henkilöautojen keskinopeuksiin moottoriteillä erisuuruusilla vapaan virran nopeuksilla. (Luttinen et al. 2005.)



Kuva 3.2. Liikennevirran keskimääräisen matkanopeuden muutos, kun raskaita ajoneuvoja on 15 prosenttia kaksikaistaisen tien liikennemäärästä. Neljä eri kuvaajaa kuvaa tilanteita, joissa ohituskieltoalueita on 0 %, 30 %, 60 % ja 90 % tien kokonaispituudesta. Kuvaajien pystyakselit kuvaavat keskimääräisen matkanopeuden muutosta, vaakakselit tarkasteltavan suunnan liikennemäärää ja käyrien yhteydessä ilmoitetut luvut vastakkaisen suunnan liikennemäärää. Ohituksien on oletettu tapahtuvan heti, kun niiden suorittaminen on mahdollista. (Luttinen 2001.)



Kuva 3.3. Raskaiden ajoneuvojen suhteellisen osuuden vaikutus henkilöautojen keskinopeuksiin nopeusrajoitusalueilla 80 km/h (katkoviivalla piirretyt käyrät) ja 100 km/h (yhtenäisellä viivalla piirretyt käyrät). Vaaka-akseli kuvaa tarkasteltavan suunnan liikennemäärää ja pystyakseli henkilöautojen keskinopeuden muutosta. Käyrien yhteydessä oleva luku ilmaisee, kuinka suuri prosenttiosuus liikennemäärästä on raskaita ajoneuvoja. (Luttinen 2001.)

Myös Suomessa on tehty tutkimuksia raskaiden ajoneuvojen vaikutuksesta liikennevirran nopeuksiin. Tutkijat ovat saaneet osittain toisistaan poikkeavia tuloksia. Sekä Torkkeli (1996) että Pesu (1996) tutkivat opinnäyte- ja diplomitöissään liikenteen automaattisten mittauspisteiden tuottamien tietojen avulla raskaan liikenteen määrän vaikutusta ajoneuvojen keskinopeuksiin. Tutkimuksissa verrattiin tietoja Kaakkois-Suomen teiltä, joilla raskaan liikenteen suhteellinen osuus oli suuri, sekä vertailukohteista, joissa raskasta liikennettä oli selvästi vähemmän. Vertailtujen teiden kokonaisliikennemäärät ja geometria vastasivat toisiaan ja teiden nopeusrajoitukset olivat yhtä suuria. Torkkelin mukaan teillä, joilla raskaan liikenteen osuus oli suuri, keskinopeudet olivat 0,84 km/h matalampia kuin vertailukohteissa. Raskaiden ajoneuvojen suhteellisen osuuden kasvulla todettiin olevan merkittävä vaikutus ajoneuvojen keskinopeuksiin. Torkkelin tutkimuksen mukaan raskaan liikenteen määrän kasvu ei kuitenkaan lisännyt nopeuksien keskihajontaa. Pesu ei puolestaan havainnut tutkimuksessaan raskaiden ajoneuvojen määrän kasvun laskevan ajoneuvojen keskinopeuksia merkittävästi. Tutkimuksessa tosin todettiin, etteivät LAM-pisteiden tuottamat tiedot välttämättä tuo esille raskaiden ajoneuvojen vaikutuksia ajoneuvoihin kokonaisvaltaisesti, koska tiedot ovat pistekohtaisia. Lisäksi LAM-pisteet on yleensä sijoitettu pituusleikkauksiltaan tasaisiin ja poikkileikkauksiltaan suoriin tienkohtiin, joten esimerkiksi määssä liikennevirtaa kuvaavien suureiden arvot saattavat poiketa merkittävästi LAM-pisteiden mittaamista arvoista. Lehtonen (2008) puolestaan havaitsi diplomityössään, että raskaan liikenteen vaikutus ajoneuvoihin on huomattava, kun raskaan liikenteen suhteellinen osuus liikennemäärästä ylittää 20 prosenttia. Tätä pienemmillä raskaan liikenteen osuuksilla ensisijaisesti tien kokonaisliikennemäärä vaikuttaa ajoneuvojen nopeuksiin.

Vaikka tutkimuksissa raskaiden ajoneuvojen vaikutuksesta ajoneuvojen keskinopeuksiin on saatu osittain toisistaan poikkeavia tuloksia, ovat tutkimukset olleet yksimielisiä siitä, että tien kokonaisliikennemäärä on ensisijainen keskimääräisiin nopeuksiin vaikuttava tekijä. Tutkimusten perusteella näyttää siltä, että myös raskaiden ajoneuvojen määrä vaikuttaa muiden ajoneuvojen nopeuksiin, mutta vaikutuksen suuruus riippuu muista samanaikaisesti vaikuttavista tekijöistä. Tämän tutkimuksen eräänä tarkoituksena on vertailla HCT-ajoneuvoyhdistelmien ja verrokkiyhdistelmien keskinopeuksia sekä nopeuden muutoksia esimerkiksi mäkisillä tieosuuksilla. Tulosten avulla voidaan muun muassa päätellä HCT-ajoneuvojen vaikutuksia liikennevirrassa esiintyvään nopeushajontaan. Mitä enemmän ajoneuvojen nopeuksissa esiintyy hajontaa, sitä suurempi on liikennevirrassa esiintyvä ohitustarve. Mikäli ohitustarve ylittää ohitusmahdollisuuksien tarjonnan, syntyy liikennevirtaan jonoja. Jonoutumista ja ohittamista sekä raskaiden ajoneuvojen vaikutusta niihin on käsitelty tarkemmin seuraavissa aliluvuissa.

3.3 Jonoutuminen

Jononmuodostusta tapahtuu, mikäli liikennevirran ajoneuvoilla on erisuuruiset tavoitenopeudet, mutta hitaamman ajoneuvon ohittaminen ei ole näkemää rajoittavien maastoesteiden tai vastaantulevan liikenteen vuoksi mahdollista. Ajoneuvon katsotaan olevan jonossa, kun edellä ajavan ajoneuvon nopeus vaikuttaa sen nopeuteen. Jonossa ajavan kuljettajan nopeus on siis alhaisempi kuin kuljettajan tavoitenopeus. Jonossa ajaminen määritetään liikennetekniikassa jonokriteerin avulla. Jonokriteerinä käytetään peräkkäisten ajoneuvojen välistä bruttoaikaväliä (esimerkiksi <3 s tai <5 s). Lisäehtona voidaan käyttää lisäksi nopeuseroa (esimerkiksi < 15 km/h). Highway Capacity Manualissa jononmuodostuksen seurauksena tapahtuva seuranta-aikaosuus on määritetty kaksikaistaisen tien palvelutasomittareista tärkeimmäksi. Seuranta-aikaosuudella tarkoitetaan sitä keskimääräistä osuutta kokonaismatka-ajasta, jonka ajoneuvot joutuvat ajamaan hitaampien ajoneuvojen takana jonossa. (Pesu 1996.) Seuranta-aikaosuuden mittaaminen on kuitenkin työlästä, joten sen korvaavana mittarina käytetään usein jonoprosenttia, eli sitä, kuinka suuri osuus liikennevirran ajoneuvoista ajaa jonossa. Jonoprosenttia määritettäessä mitataan ajoneuvojen aikavälejä jossakin tietajaksen keskimääräisiä olosuhteita mahdollisimman hyvin kuvaavassa pisteessä ja jonossa oleviksi ajoneuvoiksi määritellään ajoneuvot, joiden välinen aikaväli on esimerkiksi korkeintaan kolme sekuntia. Jonoprosentti voidaan laskea myös teoreettisesti, jolloin tarvitaan tietoa tien suunnittaisesta liikennemäärästä, raskaiden ajoneuvojen määrästä, tien poikkileikkauksesta ja nopeusrajoituksesta sekä ohituskieltoalueiden suhteellisesta osuudesta. Teoreettisesti laskettaessa raskaan liikenteen määrän katsotaan vaikuttavan jonoprosenttiin vain alueilla, joilla nopeusrajoitus on 100 km/h. Suomalaisen ohjeiden mukaan jonoprosentti voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$P_J = 100 \left[1 - \exp\left(b_1 \frac{q}{3600} + b_2 \sqrt{\frac{q_o}{3600}} + f_{J,R}\right) - f_{lk} \right] \quad (3.2)$$

missä q = tarkastelusuunnan liikennemäärä (ajon/h),

q_o = vastakkaisen suunnan liikennemäärä (ajon/h),

$f_{J,R}$ = raskaan liikenteen määrästä riippuva korjauskerroin (käytetään, kun tien nopeusrajoitus on 100 km/h),

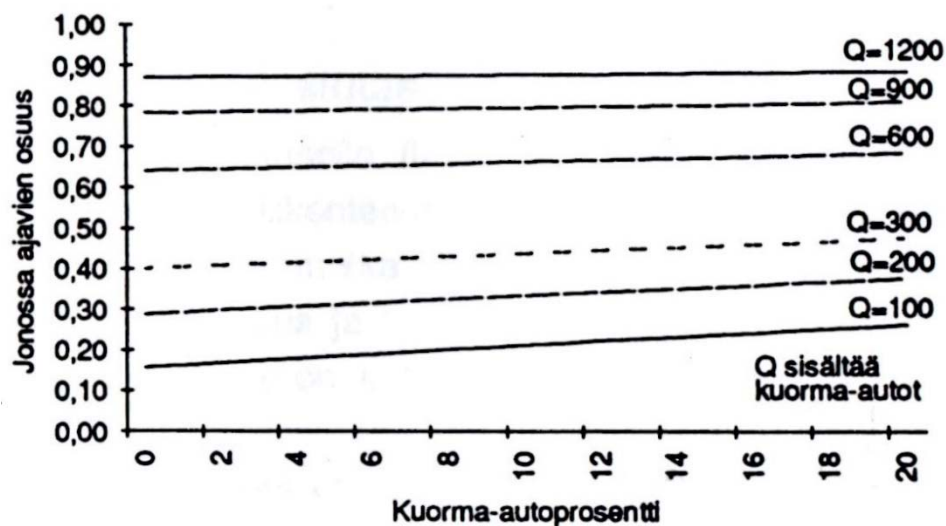
f_{lk} = leveäkaistateillä käytettävä korjauskerroin,

b_1 = nopeusrajoituksesta ja ohituskieltoalueiden määrästä riippuva parametri sekä

b_2 = piennarleveydestä riippuva parametri. (Luttinen et al. 2005.)

Raskaiden ajoneuvojen vaikutusta jonoutumiseen on tutkittu myös empiirisin tutkimuksin niin Suomessa kuin ulkomaillakin. Suomessa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että kuorma-autoista tulee jononjohtajia arkiliikenteessä 2,0 kertaa ja vapaa-ajanliikenteessä 1,35 kertaa todennäköisemmin kuin henkilöautoista (Jakonen 1991). Myös Enberg (1988) on saanut tutkimuksissaan vastaavan suuntaisia tuloksia: raskaiden ajoneuvojen suhteellinen osuus jononjohtajista todettiin suuremmaksi kuin raskaiden ajoneuvojen suhteellinen osuus liikennemäärästä. Ajoneuvoyhdistelmien osuus jononjohtajista todettiin suhteellisesti suurimmaksi.

Tutkimuksissa on havaittu, että raskaiden ajoneuvojen osuus liikennemäärästä ei yksin selitä jononmuodostumista. Hollannissa tehdyn tutkimuksen mukaan pääsuunnan liikennemäärän ja kuorma-autojen suhteellisen osuuden yhteisvaikutus selittää jononmuodostusta parhaiten. Kyseisen tutkimuksen mukaan kuorma-autojen suhteellinen osuus liikennemäärästä vaikuttaa jonossa ajavien ajoneuvojen määrään sitä enemmän, mitä pienempi on kokonaisliikennemäärä. Kuorma-autojen suhteellisen osuuden vaikutusta jonossa ajavien ajoneuvojen suhteelliseen määrään erisuuruksilla pääsuunnan liikennemäärillä on kuvattu kuvassa 3.4. (Botma 1986.)



Kuva 3.4. Hollantilaisessa tutkimuksessa (Botma 1986) saatua regressiomallia havainnollistava kuvaaja, joka kuvaa kuorma-autojen suhteellisen osuuden vaikutusta jonossa ajavien ajoneuvojen määrään erisuuruksilla pääsuunnan liikennemäärillä. (Jakonen 1991.)

1990-luvulla ja sen jälkeen tehdyissä suomalaisissa tutkimuksissa raskaiden ajoneuvojen määrän vaikutuksesta jononmuodostukseen ei ole saatu yhteneviä tuloksia. Torkkelin (1996) mukaan raskasta liikennettä voidaan pitää osatekijänä jononmuodostukseen, mutta selvää syy-seuraussuhdetta ei voida löytää. Pesu (1996) puolestaan totei tutkimuksessaan, että kasvava liikennemäärä lisää jononmuodostusta lineaarisesti, mutta kasvava raskaan liikenteen määrä lisää jononmuodostusta edelleen. Toisaalta Tiehallinnon (2006) simulointitutkimuksessa todettiin, että mikäli raskaan liikenteen suhteellinen osuus kasvaa erityisen suureksi (yli 50 %), jononmuodostus vähenee, sillä ajoneuvojen nopeushajonta pienenee eivätkä suuremman tavoitenopeuden omaavat kuljettajat enää aktiivisesti pyri ohittamaan hitaammin ajavia. Lehtonen (2008) pyrki tutkimuksessaan minimoimaan väylä- ja ympäristötekijöiden vaikutukset tutkimustuloksiin ja havaitsi, että raskaan liikenteen määrä vaikuttaa jonoutumiseen, vaikkakin tien kokonaisliikennemäärä on edelleen merkittävin jonoutumiseen vaikut-

tava tekijä. Lehtonen havaitsi tutkimuksessaan Tiehallinnon tutkimuksen kanssa yhte-näisesti, että normaalia suuremmalla raskaan liikenteen osuudella jonoprosentti laskee ajoneuvojen nopeushajonnan pienetessä. Tutkimukset ovat siis yksimielisiä siitä, että tien kokonaisliikennemäärällä on merkittävin vaikutus myös jononmuodostukseen.

Tämän tutkimuksen eräänä tavoitteena on tutkia, vaikuttavatko tavallisia ajoneuvoyh-distelmiä pidemmät HCT-ajoneuvoyhdistelmät eri tavalla jononmuodostukseen kuin normaalikokoiset ajoneuvoyhdistelmät. On mahdollista, että normaalipituisiin ajoneu-voyhdistelmiin verrattuna useammat pitkä kuljetus -kyltistä tunnistettavan HCT-ajoneuvoyhdistelmän saavuttavien ajoneuvojen kuljettajat päättävät olla ohittamatta tavallista pidempää ajoneuvoyhdistelmää, mikä lisää jonoutumista. Koska tavallista pi-demmän ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseen riittäviä tilaisuuksia saattaa esiintyä harvemmin, voivat HCT-ajoneuvoyhdistelmien takana jonossa ajatut matkat olla pidempiä kuin normaalikokoisten ajoneuvoyhdistelmien takana ajatut matkat. Toisaalta on muistettava, että HCT-ajoneuvoyhdistelmien määrää lisäämällä on mahdollista vähen-tää tiellä liikkuvien raskaiden ajoneuvojen kokonaismäärää, mikä edelleen vaikuttaa tiellä esiintyvään jononmuodostukseen ja nopeampien ajoneuvojen kokemaan viivy-tykseen. Työssä saatuja tuloksia onkin mahdollista käyttää hyväksi, kun tutkitaan, mi-ten HCT-ajoneuvoyhdistelmien määrän kasvu vaikuttaisi jonoutumiseen koko liikenne-virran tasolla.

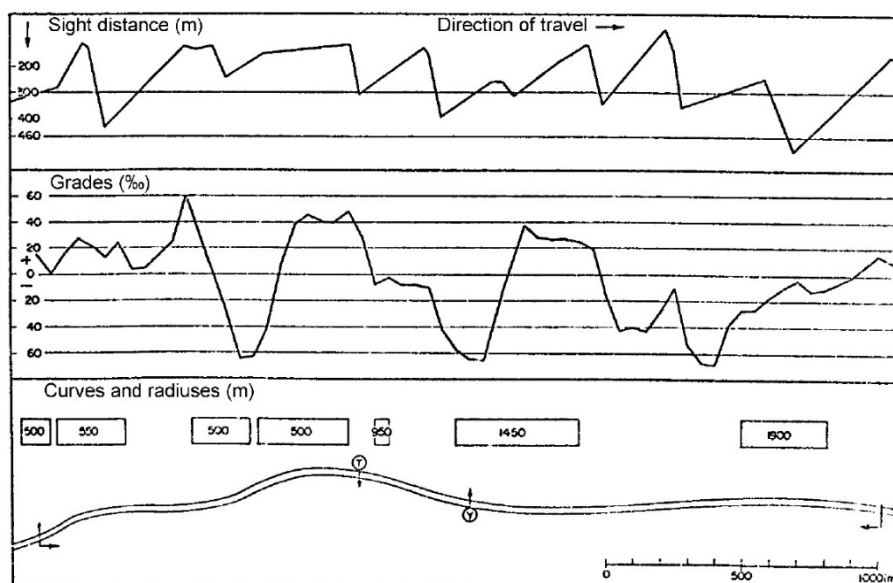
3.4 Ohittaminen

Kuten edellisissä aliluvuissa todettiin, ohitustarve syntyy, kun nopeammin ajavat ajo-neuvot saavuttavat hitaampia. Raskaan liikenteen määrä vaikuttaa ohitustarpeeseen, sillä raskaiden ajoneuvojen nopeudet ovat usein erityisesti korkeamman nopeusrajoi-tuksen omaavilla tieosuuksilla matalampia kuin henkilöautojen kuljettajien tavoite-nopeudet. Raskaiden ajoneuvojen ohittaminen kaksikaistaisilla teillä on haasteelli-sempää kuin henkilöautojen ohittaminen, sillä suuren kokonsa vuoksi kuorma-autot ja ajoneuvoyhdistelmät rajoittavat ohittajan näkemää, mikä puolestaan vaikeuttaa ohi-tukseen käytettävissä olevan tieosan pituuden arvioimista. (McLean 1989.) Lisäksi ajo-neuvon pituus vaikuttaa vaadittuun ohitusmatkaan: mitä pidempi ohitettava ajoneuvo on, sitä enemmän aikaa ja sitä pidempi vapaa tiealue ohitukseen tarvitaan. Esimerkiksi Troutbeckin (1981) tutkimuksen mukaan 16 metriä pitkän ajoneuvoyhdistelmän ohit-taminen vaatii 18 % enemmän aikaa 5 metriä pitkän henkilöauton ohittamiseen verrat-tuna, kun taas 20 metriä pitkän ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseen vaaditaan 5 % enemmän aikaa 16-metrinen ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseen verrattuna. Toisaalta raskaiden ajoneuvojen henkilöautoja matalampi nopeus kasvattaa ohittajan ja ohitet-tavan välistä nopeuseroa ja täten lyhentää ohitukseen kuluvaan aikaa (Luttinen 2001).

Ohitus voidaan määritellä joko aktiiviseksi tai passiiviseksi ohitukseksi riippuen siitä, kenen näkökulmasta tapahtumaa tarkastellaan. Ohitukset ovat aktiivisia ohituksia ohittajan kannalta ja passiivisia ohituksia ohitettavan kannalta; aktiivisten ja passiivis-ten ohitusten määrä liikennevirrassa on siis yhtä suuri. (Luttinen et al. 2005.) McLean (1989) on lisäksi esittänyt viisi perusominaisuutta, joiden avulla ohituksia voidaan luo-kitella. Perusominaisuuksia ovat ohitettavan ajoneuvon tyyppi (kevyt/raskas), ohitet-tavan ajoneuvon nopeus, ohittavan ajoneuvon tyyppi (kevyt/raskas), ohituksen tyyppi (kiihdytys-/lentävä ohitus) sekä ohitusolosuhteet (näkemä ja sääolosuhteet). Yksi ohi-tuspäätökseen vaikuttava tekijä on siis ohitettavan ajoneuvon tyyppi. Henkilöautoja matalamman nopeuden lisäksi raskailla ajoneuvoilla on muitakin ominaisuuksia, joi-den vuoksi henkilöautojen kuljettajat pyrkivät ohittamaan niitä. Andersson et al. (2011)

mainitsevat alhaisemman nopeuden lisäksi kolme muuta syytä raskaiden ajoneuvojen ohittamiselle. Ensimmäinen tekijä on mukavuudenhalu: raskaan ajoneuvon takana ajaminen rajoittaa näkyvyyttä ja lisäksi huonolla säällä edellyttää hyvin toimivaa tuulilasipuhdistuslaitteistoa ja säännöllistä tuulilasin puhdistamista. Toisena syynä tutkijat mainitsevat turvallisuustekijät, joilla he tarkoittavat sitä, että raskaan ajoneuvon perässä ajaminen vaikuttaa opasteiden ja tiemerkintöjen havaitsemiseen, mikä saattaa vähentää päätöksentekoaikaa erilaisissa liikennetilanteissa. Kolmantena ohituksen houkuttelevana tekijänä mainitaan raskaan ajoneuvon perään muodostuneessa jonnossa ajamisen epämukavuus.

Kun ohitustarve on syntynyt, tulee hitaamman ajoneuvon saavuttaneen kuljettajan kohdata ohitusmahdollisuus, jotta tarve voidaan täyttää. Ohitusmahdollisuuksien määrä kaksikaistaisilla teillä riippuu tien ominaisuuksista sekä vastaantulevan liikenteen määrästä. Tien tulee tarjota tarpeeksi pitkä näkemä, jotta ohittamaan pyrkivä voi arvioida, onko ohittaminen näkyvällä tienosalla mahdollista. Näkemäksi kutsutaan sitä ajorataa pitkin mitattua matkaa, jonka etäisyydellä olevan esteen ajoneuvon kuljettaja voi esteettä nähdä (Ristikartano et al. 2012). Näkemäpituuden suuruuteen vaikuttavat tien linjaus eli tien vaakasuuntainen geometria, tien tasausviiva eli tien pystysuuntainen geometria sekä tien läheisyydessä sijaitsevat näkemäesteet kuten puusto ja rakennukset. Näkemästeen, kuten mäenharjanteen tai mutkan jälkeen näkemäpituus saavuttaa paikallisen maksimiarvonsa, jonka jälkeen näkemäpituuden arvo laskee lineaarisesti kohti seuraavaa paikallista minimiarvoa. (Luttinen 2001.) Tiegeometrian vaikutusta näkemäpituuteen on kuvattu kuvassa 3.5. Tien suunnittelulla voidaan vaikuttaa siihen, että tie tarjoaa ohitukseen riittäviä näkemiä riittävän usein. Ohitusnäkemäksi kutsutaan matkaa, jonka etäisyydelle kuljettajan on esteettömästi nähtävä voidakseen ohittaa edellä ajavan ajoneuvon turvallisesti niin, ettei vastaantulevan ajoneuvon tarvitse hidastaa nopeuttaan (Lehtinen 1999). Ohitusmatkat ovat sitä pidempiä, mitä suuremmalla nopeudella ohitettava ajoneuvo ajaa, joten suuremman nopeustason teiden mitoitusohjenäkemäpituuden vähimmäisarvo on suurempi kuin matalamman nopeustason teillä. Toisaalta tien liikennemäärä vaikuttaa siihen, kuinka tiheästi ohitusnäkemiä tulee tarjota: suuremman liikennemäärän valta- ja kantateillä vähintään ohitusnäkemäpituuden vähimmäisarvon suuruisia näkemiä tulee olla tiheämmässä kuin pienemmän liikennemäärän seutu- ja yhdysteillä. (Tielaitos 1999.)



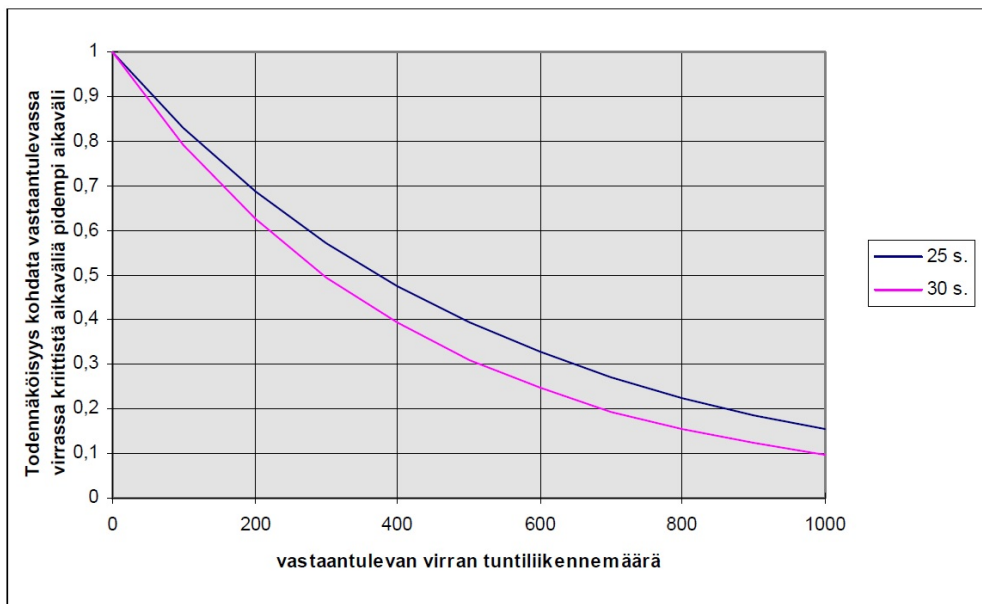
Kuva 3.5. Tien pysty- ja vaakasuuntaisen geometrian vaikutus tien tarjoamiin näkemiin. (Roine 1972.)

Vaikka tien ominaisuudet tarjoaisivatkin mahdollisuuden ohittamiseen, saattaa vastaan tuleva liikenne estää ohittamisen. Vastaantulevassa liikennevirrassa tulee olla tarpeeksi pitkä ajoneuvoväli, jotta ohitus on mahdollista suorittaa turvallisesti. Esimerkiksi Morrall ja Werner (1984) ovat tutkineet vastaan tulevan liikennevirran suuruuden vaikutusta ohitusmahdollisuuksien esiintymistiheyteen kaksikaistaisilla teillä. He määrittelivät havaintoihinsa perustuen, että vastaan tulevassa liikennevirrassa tulee olla vähintään 30 sekunnin suuruinen väli, jotta keskimääräinen kuljettaja lähtee ohitukseen. Lisäksi he olettivat, että vastaan tulevien ajoneuvojen saapumisen jakauma noudattaa eksponentiaalijakaumaa. Näihin oletuksiin perustuen he muodostivat teoreettisen mallin, joka esittää yli 30 sekunnin mittaisten aikavälien esiintymistodennäköisyyden ja vastaan tulevan virran liikennemäärän välistä riippuvuutta kaavan 3.3 mukaisesti. He esittivät vastaavan mallin myös yli 25 sekunnin mittaisten aikavälien esiintymistodennäköisyyden ja vastaan tulevan liikennemäärän väliselle riippuvuudelle kaavan 3.4 mukaisesti. Kuvassa 3.6 on esitetty kaavojen 3.3 ja 3.4 mukaisten teoreettisten mallien graafinen kuvaus.

$$P(g > 30) = e^{-0,00234Q_0} \quad (3.3)$$

$$P(g > 25) = e^{-0,0018626Q_0} \quad (3.4)$$

missä Q_0 on vastaan tulevan virran tuntiliikennemäärä. (Morrall & Werner 1984.)



Kuva 3.6. Vastaantulevan virran tuntiliikennemäärän vaikutus vähintään 25 ja 30 sekuntia pitkien aikavälien esiintymistodennäköisyyteen. (Lehtinen 1999.)

Kuvasta 3.6 nähdään, että vastaan tulevan liikenteen määrän kasvaminen luonnollisesti vähentää ohitukseen vaadittavien aikavälien esiintymistodennäköisyyttä. On kuitenkin huomattava, että kaavojen 3.3 ja 3.4 luotettavuus riippuu tarkasteltavan tiestön ominaisuuksista, sillä niillä on vaikutusta kaavoissa käytettyihin kertoimiin. Mikäli tien geometria tarjoamia ohituspaikkoja on tiheästi, on ajoneuvojen aikavälijakauma satunnaisempi, sillä hitaampien ajoneuvojen eteen muodostuu tällöin vähemmän pitkiä aikavälejä. Tällöin vastakkaiseen suuntaan ajavat ajoneuvot kohtaavat vähemmän ohituksen mahdollistavia välejä vastaan tulevassa liikennevirrassa. Mikäli tien geometria puolestaan tarjoaa vain vähän ohituspaikkoja, kohtaavat ajoneuvot useammin pitkiä aikavälejä. (Lehtinen 1999.)

Ohituspäätösten tekeminen on haastavimpia tehtäviä, joita ajoneuvojen kuljettajat normaalissa liikenteessä toistuvasti kohtaavat. Ohituspäätöstä tehtäessä on arvioitava, onko vastaantulevan liikenteen kaista vapaa riittävän pitkältä matkalta ja voiko ohittaja ohituksen jälkeen palata turvallisesti omalle kaistalleen. Arviointinsa perusteella kuljettajat tekevät joko positiivisen ohituspäätöksen eli lähtevät ohittamaan edellä ajavaa ajoneuvoa tai negatiivisen ohituspäätöksen eli jäävät ajamaan edellä ajavan ajoneuvon perässä. (Lehtinen 1999.) McLeanin (1989) mukaan kuljettajat eivät pysty arvioimaan etäisyyttä vastaantulevaan ajoneuvoon kovin tarkasti ja vastaantulevan ajoneuvon nopeuden arviointi on lähes mahdotonta. Kuljettajien hyväksymissä ohitusmahdollisuuksissa onkin merkittävää vaihtelua kuljettajien välillä. Vaihtelu johtuu muun muassa kuljettajien kokemuksesta, heidän käyttämiensä ajoneuvojen ominaisuuksista sekä matkoihin liittyvistä tekijöistä. Myös saman kuljettajan hyväksymissä ohitusmahdollisuuksissa esiintyy vaihtelua: lyhyellä matkalla saatetaan olla valmiita ajamaan hitaamman ajoneuvon perässä lähtemättä ohitukseen, ja huonolla säällä ohitukseen saatetaan vaatia pidempi aikaväli vastaantulevassa liikennevirrassa kuin hyvällä säällä. Lisäksi kuljettajan aiemmin suorittamien ohitusten määrä voi vaikuttaa hyväksytyjen ohitusaikavälien suuruuteen arviointikyvyn kehittyessä toistojen myötä. (McLean 1989.)

Kuljettajien hyväksymien ohitusmahdollisuuksien suuruutta voidaan mitata joko etäisyytenä tai aikavälinä. Edellistä määritettäessä mitataan, kuinka monta metriä oli ohittavan ajoneuvon ja seuraavan vastaantulevan ajoneuvon tai näkemää rajoittavan maastoesteen välinen etäisyys ohituksen alkaessa. Jälkimmäistä määritettäessä puolestaan mitataan, kuinka suuri oli se vastaantulevien ajoneuvojen välinen aikaväli, jonka aikana ohitus tapahtui. Osassa tutkimuksista kaikki ohitukset käsitellään yhtenä aineistona, kun taas joissakin tutkimuksista erotellaan ohitukset sen mukaan, rajoittiko ohittajan näkemää ohituksen alkaessa maastoeste vai vastaantuleva ajoneuvo. (McLean 1989.)

Mitattiinpa sitten aikavälejä tai etäisyyksiä, tutkimusten tavoitteena on usein selvittää, mikä on se kynnysarvo, jonka ylittyä positiivinen ohituspäätös tehdään. Aikavälejä mitattaessa keskimääräistä kynnysarvoa kutsutaan kriittiseksi aikaväliksi. Kriittisen aikavälin määrittäminen on haasteellista, koska se ei ole suoraan mitattavissa oleva suure: ohittajan hyväksymän aikavälin pituus ei suoraan kerro sitä, kuinka suuri aikavälin pitää vähintään olla, jotta kyseinen kuljettaja tekee positiivisen ohituspäätöksen. Tarvitaankin tietoa myös kuljettajan hylkäämien aikavälien pituuksista, jotta kriittisen aikavälin suuruus voidaan arvioida. Kun oletetaan, että kuljettajat käyttäytyvät johdonmukaisesti, kriittisen ohitusaikavälin suuruus on heidän hyväksymänsä ja pisimmän hylkäämänsä aikavälin arvojen välissä. Tämän oletuksen mukaan kuljettajat hylkäävät johdonmukaisesti kriittistä aikaväliä pienemmät aikavälit ja hyväksyvät sitä suuremmat aikavälit. Todellisuudessa kuljettajien käytös ei useinkaan ole täysin johdonmukaista, vaan esimerkiksi pitkään jonotettuaan kuljettajat saattavat hyväksyä aikavälin, joka on lyhyempi kuin heidän aiemmin hylkäämänsä aikaväli. Lisäksi on huomattava, että eri kuljettajien kriittisten aikavälien suuruudessa on merkittävää vaihtelua. (McGowen & Stanley 2012.)

Kriittisen aikavälin arvioimiseksi voidaan käyttää useita menetelmiä, joita ovat muun muassa logistinen regressioanalyysi, Ruffin menetelmä sekä Troutbeckin tunnetuksi tekemä suurimman uskottavuuden menetelmä. Menetelmässä oletetaan, että kullakin kuljettajalla on pienin hyväksyttävissä oleva aikaväli. Pienimpien hyväksyttävissä olevien aikavälien oletetaan noudattavan log-normaalijakaumaa. Log-normaalijakamalla voidaan kuvata sellaisia satunnaismuuttujia, jotka eivät voida saada negatiivisia

arvoja, mutta voivat saada miten suuria arvoja tahansa. Kriittisen aikavälin estimaatti saadaan pienimpien hyväksyttävissä olevien aikavälien muodostaman jakauman odotusarvona. (McGowen & Stanley 2012.)

Merkitään yksittäisen ohittajan käyttäytymisestä tehtyjä havaintoja seuraavasti:

r_d = pisin kuljettajan hylkäämä aikaväli (s)

a_d = kuljettajan hyväksymä aikaväli (s).

Suurimman uskottavuuden menetelmässä lasketaan todennäköisyyttä sille, että kriittinen aikavälin t_c arvo on arvojen r_d ja a_d välissä. Todennäköisyyden arvioimiseksi tulee tehdä oletus pienimpien hyväksyttävissä olevien aikavälien jakaumasta $F_c(t)$. Kuten edellä mainittiin, pienimpien hyväksyttävissä olevien aikavälien oletetaan noudattavan log-normaali-jakaumaa. Lisäksi oletuksena on, että kuljettajat käyttäytyvät johdonmukaisesti. Todennäköisyys sille, että yksittäisen kuljettajan pienin hyväksyttävissä oleva aikaväli on arvojen r_d ja a_d välissä saadaan hyväksytyjen aikavälien jakaumaan ja hylättyjen aikavälien jakaumaan perustuvien todennäköisyyksien erotuksena $F_a(a_d) - F_r(r_d)$. Kun on kerätty aineisto, jossa on tietoa hyväksytyjen ja hylättyjen aikavälien suuruudesta n määrästä ohituksia, todennäköisyyttä L' sille, että on saatu kyseiset hyväksytyt ja suurimpia hylättyjä aikavälejä kuvaavat vektorit $\{a_d\}$ ja $\{r_d\}$ voidaan kuvata yksittäisten havaintojen todennäköisyyksien tulona:

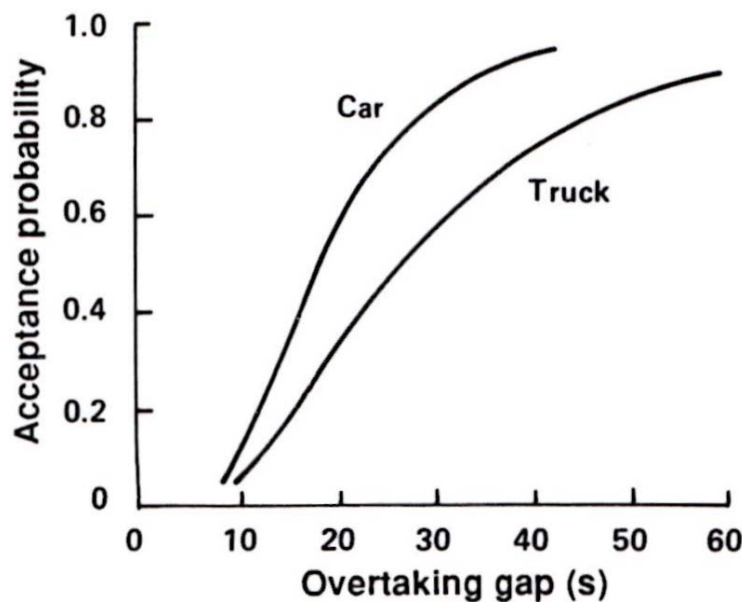
$$L' = \prod_{d=1}^n (F_a(a_d) - F_r(r_d)) \quad (3.5)$$

Todennäköisyyden L' logaritmi L saadaan puolestaan summaamalla yksittäisten todennäköisyyksien luonnollisten logaritmien arvoja:

$$L = \sum_{d=1}^n \ln(F_a(a_d) - F_r(r_d)) \quad (3.6)$$

Koska todennäköisyyden L' maksimiarvo saavutetaan samassa pisteessä kuin sen logaritmin L maksimiarvo, suurimman uskottavuuden menetelmässä maksimoidaan logaritmia L . Kriittisen aikavälin jakauman keskiarvon μ ja varianssin σ^2 löytämiseksi osittaisderivoidaan logaritmia L kyseisten parametrien suhteen. Tällöin saadaan yhtälöpari, joka riippuu hyväksytyistä ja pisimmistä hylätyistä aikaväleistä muodostetuista vektoreista $\{a_d\}$ ja $\{r_d\}$. Yhtälöparin yhtälöt voidaan ratkaista numeerisin menetelmin iteroimalla. Troutbeck on kehittänyt yhtälöiden ratkaisemiseksi ohjelman, jota myös tämän työn yhteydessä on käytetty. Ohjelma antaa tuloksena kriittisen aikavälin estimaatin, kun syötteenä ovat havaitut hyväksytyjen ja pisimpien hylättyjen ohitusaikavälien arvot. (Brilon et al. 1999.)

Vertaamalla kriittisten aikavälien suuruutta esimerkiksi henkilöautojen ja raskaiden ajoneuvojen ohituksissa voidaan arvioida sitä, miten ohitettavan ajoneuvon tyyppi vaikuttaa ohittamisen vaikeuteen eli siihen, kuinka pitkän vapaan tiealueen ohittajat keskimäärin vaativat tehdäkseen positiivisen ohituspäätöksen. Kuten kuvasta 3.7 nähdään, kuorma-autojen ohituksissa ohittajat vaativat keskimäärin pitempiä aikavälejä vastaantulevassa liikennevirrassa kuin henkilöautojen ohituksissa. McLeanin (1989) mukaan raskaiden ajoneuvojen ohittamiseksi vaaditut aikavälit ovat noin 30–65 % suurempia kuin henkilöautojen ohittamiseksi vaaditut aikavälit. Raskaiden ajoneuvojen ohittaminen on henkilöautojen ohittamista vaikeampaa niiden pituudesta ja suuresta estevaikutuksesta johtuen. (McLean 1989.)



Kuva 3.7. Aikavälin pituuden ja aikavälin hyväksymistodennäköisyyden välinen riippuvuus henkilöautojen ja kuorma-autojen ohituksissa. Esimerkiksi 30 sekunnin mittaisen aikavälin hyväksymisen todennäköisyys on kuvaajan mukaan henkilöautoa ohitettaessa noin 0,8 ja kuorma-autoa ohitettaessa noin 0,55. (McLean 1989.)

Eri ajoneuvotyyppien ohittamista voidaan vertailla kriittisen aikavälin lisäksi myös muita parametreja käyttämällä. Esimerkiksi ohitusten turvallisuustasoa voidaan verrata mittaamalla turva-aikoja. Turva-ajalla tarkoitetaan sitä aikaa, joka kuluu ohituksen päättymisestä siihen, kunnes ohittaja kohtaa seuraavan vastaantulevan ajoneuvon. Hyvin lyhyiden ja negatiivisten turva-aikojen määrä kertoo vaaratilanteiden esiintymistodennäköisyydestä. Turva-aika on negatiivinen, mikäli ohittaja kohtaa seuraavan vastaantulevan ajoneuvon ennen ohituksen päättymistä. Turva-ajoista tehdyissä tutkimuksissa on todettu mm. että leveämmillä tietyyypeillä lyhyet turva-ajat ovat yleisempiä kuin kapeilla tietyyypeillä. Tyypillisiä ohituksiin liittyviä mitattavia parametreja ovat myös ohitusten kestot ja ohitusmatkojen pituudet sekä ohitusten aikana käytetyt nopeudet. Tutkimuksissa on muun muassa todettu, että yhdistelmäajoneuvoja ohitettaessa ohittajien nopeudet ovat yleensä suurempia kuin henkilöautoja ohitettaessa. Suurempi nopeusero ei kuitenkaan riitä täysin kompensoimaan yhdistelmäajoneuvojen pituuden vaikutusta, joten yhdistelmäajoneuvojen ohittaminen kestää yleensä pidempään kuin henkilöautojen ohittaminen. (Tapio 2003.)

4 Aiemmat HCT-kokeilut ja -tutkimukset

4.1 HCT-kuljetusten ja -tutkimusten tilanne maailmalla

HCT-ajoneuvojen määritelmä riippuu valtiosta, jonka liikennejärjestelmää tarkastellaan. HCT-ajoneuvoina pidetään yleensä valtion lainsäädännön asettamat enimmäismitat ja/tai -massat ylittäviä ajoneuvoja. Erikoiskuljetuksissa käytettäviä ajoneuvoja ei kuitenkaan yleensä kutsuta HCT-ajoneuvoiksi, sillä niillä hoidetaan luonteeltaan selvästi muista kuljetuksista poikkeavia, kertaluonteisia tehtäviä. Lisäksi erikoiskuljetusajoneuvojen suuri koko tai massa johtuu kuljetettavan kappaleen koosta, kun taas HCT-ajoneuvoyhdistelmien tavallista suurempi koko tai massa johtuu suuremmasta tavaramäärästä. Mikäli tilannetta tarkastellaan Suomen lainsäädännön puitteissa ja määritellään HCT-ajoneuvoiksi yli 25,25 metriä pitkät ja/tai yli 76 tonnia painavat ajoneuvoyhdistelmät, voidaan todeta, että vain harvat valtiot sallivat HCT-ajoneuvojen käytämisen tiestöllään.

Brasiliassa yhdistelmäajoneuvojen koko on rajattu 19,8 metriin ja 57 tonniin, mutta rajatulla tieverkolla voidaan erikoisluvalla liikennöidä maksimissaan 30-metrisillä ja 74-tonnisilla yhdistelmillä. Uudessa-Seelannissa lainsäädäntö sallii maksimissaan 20-metrinen ja 44-tonnisten yhdistelmien käytön, mutta erikoisluvalla ja rajatulla tieverkolla myös tätä pidempiä yhdistelmiä voidaan käyttää. Varsinaisia enimmäismassoja ja -mittoja HCT-yhdistelmille ei Uudessa-Seelannissa ole annettu, vaan käytössä ovat suorituskykyyn perustuvat standardit (Performance Based Standards, PBS). Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli voidaan osoittaa, että lainsäädännön asettamat mitta- ja massarajat ylittävä ajoneuvoyhdistelmä täyttää esimerkiksi suuntavakavuutta, mäennousukykyä ja tierasitusta koskevat kriteerit, voidaan sille antaa liikennöintilupa. Yli 25-metriset ajoneuvoyhdistelmät ovat kuitenkin Uudessa-Seelannissa harvinaisia. (Kyster-Hansen & Sjögren 2013.)

Myös Australiassa käytössä ovat suorituskykyyn perustuvat standardit. Maan tieverkosto on jaettu neljään luokkaan, jotka määrittävät, kuinka suurilla ajoneuvoilla kullakin tiellä voidaan liikennöidä. HCT-ajoneuvot voivat ylittää 60 metrin pituuteen ja 132 tonnin yhdistelmämassaan ja erikoistapauksissa jopa tätäkin suuremmiksi, kun taas lainsäädännön asettamat rajat normaaleille ajoneuvoyhdistelmille ovat 26 metrin enimmäispituus ja 68 tonnin maksimimassa. Etelä-Afrikassa puolestaan pilotoidaan suorituskykyyn perustuvia standardeja, ja tämän johdosta joitakin normaalin lainsäädännön rajat (22 metriä ja 56 tonnia) ylittäviä yhdistelmiä on liikenteessä. Suurimmat käytössä olevat HCT-yhdistelmät ovat kaivosteollisuudessa käytetyt 42 metriä pitkät ja 176 tonnia painavat yhdistelmät. (Kyster-Hansen & Sjögren 2013.)

HCT-ajoneuvoja käytetään myös Pohjois-Amerikan valtioissa. Yhdysvalloissa lainsäädäntö vaihtelee osavaltioittain. Pisimmät HCT-yhdistelmät liikennöivät Coloradossa, jossa maksimipituus on 35,5 metriä, kun taas korkein yhdistelmämassa, 74 tonnia, on Michiganissa. Myös Kanadassa lainsäädäntö vaihtelee alueittain. Normaalisti ajoneuvoyhdistelmät ovat pituudeltaan enintään 25-metrisiä ja massaltaan korkeintaan 63,5-tonnisiä, mutta osassa provinseja käytössä ovat suorituskykyyn perustuvat standardit, jotka mahdollistavat myös suurempien ajoneuvoyhdistelmien käytön. Sekä Yhdysvalloissa että Kanadassa yleisimmät HCT-yhdistelmätyypit ovat vetoautosta, pitkistä

puoliperävaunusta ja lyhyestä varsinaisesta perävaunusta koostuva Rocky mountain double; vetoautosta, pitkästä puoliperävaunusta ja pitkästä varsinaisesta perävaunusta koostuva Turnpike double sekä vetoautosta, lyhyestä puoliperävaunusta ja kahdesta lyhyestä varsinaisesta perävaunusta koostuva Triple-yhdistelmä. Meksikossa puolestaan voidaan rajatulla tieverkolla liikennöidä enintään 31 metriä pitkällä ja 66,5 tonnia painavilla HCT-yhdistelmillä. (Kyster-Hansen & Sjögren 2013.)

Euroopassa HCT-yhdistelmät ovat harvinaisia, mutta mielenkiinto tavallisia suurempia ajoneuvoyhdistelmiä kohtaan kasvaa alati erityisesti Suomessa ja Ruotsissa. Ensimmäinen HCT-ajoneuvo otettiin Ruotsissa käyttöön vuonna 2009, ja joulukuussa 2016 yli 25,25 metriä pitkiä ja/tai yli 76-tonnisia ajoneuvoyhdistelmiä on käytössä yhdeksän kappaletta (Skogforsk.se 2016). Suomessa ensimmäinen HCT-ajoneuvo aloitti liikennöinnin vuonna 2013, ja elokuussa 2017 poikkeuslupia yli 25,25 metriä pitkällä ja/tai yli 76 tonnia painavilla HCT-ajoneuvoyhdistelmillä liikennöintiin oli myönnetty noin 30 ajoneuvoyhdistelmälle. Trafin käsittelyssä on useita uusia hakemuksia, joten poikkeusluvan ehtojen täyttyessä liikenteessä olevien HCT-ajoneuvojen määrä tulee tulevaisuudessa kasvamaan edelleen (Trafi.fi 2016b). Muissa Euroopan maissa HCT-ajoneuvoja ei ole otettu käyttöön, ja muutoinkin sallitut yhdistelmäkoot ovat suurimmassa osassa Eurooppaa pienempiä kuin Suomessa ja Ruotsissa.

Koska Ruotsin tilanne HCT-kuljetusten osalta on samankaltainen kuin Suomessa ja olosuhteet ovat muutenkin vertailukelpoisia, esitellään aliluvussa 4.2 Ruotsissa tehtyjä HCT-kokeiluita ja niihin liittyviä tutkimuksia. Tämän jälkeen aliluvussa 4.3 esitellään merkittävimpiä, erityisesti liikenneturvallisuuden ja ohituskäyttäytymisen näkökulmista tehtyjä HCT-ajoneuvoihin liittyviä tutkimuksia. Myös muista näkökulmista tehtyjä HCT-tutkimuksia on listattu lyhyesti, jotta lukijat voivat halutessaan syventyä aiheeseen esimerkiksi kuljetustalouden ja ympäristövaikutusten kannalta. Tämän työn varsinaiseen aihepiiriin ne eivät kuitenkaan kuulu.

4.2 Ruotsalaiset HCT-kokeilut

4.2.1 En Trave Till eli ETT-projekti

ETT tulee ruotsin kielen sanoista En Trave Till, jotka tarkoittavat suomeksi ”yksi nippu lisää”. Tällä viitataan raakapuukuljetuksiin, joissa Ruotsissa tavanomaisilla maksimissaan 24 metriä pitkällä ja 60 tonnia painavilla kolmiakselisen kuorma-auton ja neljääkselisen varsinaisen perävaunun ajoneuvoyhdistelmillä voidaan kuljettaa kolme noin kuuden metrin pituista raakapuunippua. ETT-projektin tavoitteena oli luoda ajoneuvoyhdistelmä, jolla voidaan suuremman pituuden ja kokonaismassan ansiosta kuljettaa kolmen sijasta neljä puunippua kerralla. Projekti alkoi Ruotsissa vuonna 2006 muun muassa metsäntutkimuslaitos Skogforsk, Ruotsin liikennevirasto Trafikverket, Volvon, metsä- ja autoteollisuuden yritysten sekä yksityistieyhdistyksen yhteistyönä. Projektin tarkoituksena oli tutkia uudenlaisen, standardoiduista kuljetusyksiköistä kootun moduulipohjaisen ajoneuvoyhdistelmän mahdollisuuksia raakapuukuljetusten tehostamiseen sekä suuremman ajoneuvoyhdistelmän käytön vaikutuksia ympäristöön, tiestöön ja liikenneturvallisuuteen. Tavoitteena oli alentaa raakapuukuljetusten hiilidioksidipäästöjä ja muita negatiivisia ympäristövaikutuksia, vähentää raakapuukuljetusten polttoaineenkulutusta sekä luoda taloudellisia säästöjä pienempien työvoima-, polttoaine- ja ajoneuvokustannusten avulla aiheuttamatta negatiivisia vaikutuksia liikenneturvallisuuteen ja tiestöön. (Löfroth & Svenson 2012.)

Neljän raakapuunipun kuljettamisen mahdollistavan ajoneuvoyhdistelmän mahdollisia konfiguraatiovaihtoehtoja vertailtiin muun muassa laskemalla yhdistelmien teoreettisia kääntösäteitä, vakautta sekä tiestöön aiheutuvaa kuormitusta. Tuotekehityksen tuloksena syntyi kuvassa 4.1 näkyvä 30 metriä pitkä ja kokonaispainoltaan 90 tonnin yhdistelmä, joka koostuu kuorma-autosta, apuvaunusta eli dollysta, linkkivaunusta sekä puoliperävaunusta. ETT-ajoneuvoyhdistelmän omamassa on 24 tonnia, joten siihen voidaan lastata 66 tonnin nettokuorma 90 tonnin kokonaismassan rajoissa. Volvon valmistamassa kuorma-autossa on 660 hevosvoimaa, ja ajoneuvon kolmesta akselista kaksi on vetäviä. Lisäksi ajoneuvossa on sähköinen jarrutusjärjestelmä (EBS), jonka ansiosta kaikki yhdistelmäajoneuvon jarrut toimivat täsmälleen yhdenaikaisesti. Yhdistelmä valmistui loppuvuonna 2008, ja Ruotsin tieliikenneviranomaisten annettua poikkeusluvan liikennöintiin ETT-ajoneuvoyhdistelmä otettiin käyttöön tammikuussa 2009. (Löfroth & Svenson 2012.)



Kuva 4.1. Kuorma-autosta, dollysta, linkkivaunusta ja puoliperävaunusta koostuva ETT-ajoneuvoyhdistelmä (Konepörssi.com 2009).

ETT-ajoneuvon reitti on noin 150 kilometrin matka Överkalixissa sijaitsevasta terminaalista Piteåssa sijaitsevaan teollisuuslaitokseen. Paluumatka Överkalixin terminaaliiin ajetaan tyhjänä. Reitti sisältää niin kaksi-, kolme- kuin nelikaistaisia tieosuuksia ja sekä keskikaiteellisia että keskikaiteettomia osuuksia. Suurin osa reitistä sijoittuu E4 ja E10 -teille. Pinnanmuodoiltaan liikennöintialue on melko tasaista maksimipituuskaltevuuden ollessa 4 %. (Löfroth & Svenson 2012.)

ETT-projektiin liittyen tavallista suuremman yhdistelmäajoneuvon vaikutuksia on tutkittu varsin monipuolisesti. Ajoneuvon Dynafleet-tietojärjestelmä tuottaa tietoa muun muassa ajoneuvon nopeudesta, kuormasta ja polttoaineenkulutuksesta. Näiden tietojen avulla Skogforsk on analysoinut kuljetusten kustannuksia, tuottavuutta, ajoneuvoyhdistelmän tärinää ja sekä päästöjä. Ruotsin liikennevirastossa on puolestaan tarkkailtu ETT-ajoneuvon aiheuttamaa tien kulumista ja siltojen kuormitusta. Ajoneuvon, perävaunun ja päällirakenteiden valmistajat ovat olleet vastuussa ajoneuvoyhdistelmän teknisestä arvioinnista ja kehittämisestä. Ruotsin tie- ja liikennetutkimuskeskus VTI on puolestaan tutkinut HCT-ajoneuvojen vaikutusta liikenneturvallisuuteen ja erityisesti ohitukseen. (Löfroth & Svenson 2012.)

Tiivistetysti kuvattuna tulokset osoittivat, että ETT-ajoneuvoyhdistelmällä voidaan tehostaa raakapuunkuljetuksia ilman merkittäviä negatiivisia vaikutuksia millään edellä mainituista osa-alueista. Vuosina 2009–2011 ETT-ajoneuvoyhdistelmällä ajettiin 800 000 kilometriä ja puuta kuljetettiin 150 000 kuutiometriä. Mikäli sama määrä puuta olisi kuljetettu tavanomaisilla 60 tonnin yhdistelmillä, olisi polttoainetta kulunut 21 % enemmän. Vastaavasti myös päästöt olisivat olleet suurempia. Koska ETT-

yhdistelmällä voidaan kuljettaa 50 % enemmän puuta kuin 60-tonnisella yhdistelmällä, voidaan kahdella ETT-ajoneuvolla kuljettaa sama määrä puuta kuin kolmella tavanomaisella ajoneuvoyhdistelmällä. Tämä laskee työvoimakustannuksia ja muuttuvia sekä kiinteitä ajoneuvokuluja. (Löfroth & Svenson 2012.)

Koska ETT-ajoneuvossa suurempi kokonaismassa jakaantuu suuremmalle määrälle akseleita, ei yhdistelmän aiheuttama akselikuormitus ole tavanomaisten 60-tonnisten ajoneuvoyhdistelmien aiheuttamaa akselikuormitusta suurempi. Tutkimuksissa ei havaittu ETT-ajoneuvon aiheuttaneen rakenteellisia vaikutuksia tiehen. Myöskään ajoneuvossa ei havaittu normaalia poikkeavia teknisiä muutoksia tutkimusajanjakson aikana. Kuljettajien kokemukset ETT-ajoneuvosta olivat pelkästään positiivisia: sen kuvailtiin olevan helposti ajettava ja vakaa – jopa tavanomaista yhdistelmäajoneuvoa vakaampi. Sähköistä jarrutusjärjestelmää (EBS) kuvailtiin hyvin toimivaksi, eikä jarrutusmatkoissa havaittu eroa 60-tonnisiin yhdistelmiin. Myöskään negatiivisia vaikutuksia liikenneturvallisuuteen ei havaittu. VTI:n suorittama liikenneturvallisuustutkimus on esitelty laajemmin aliluvussa 4.3.2. (Löfroth & Svenson 2012.)

Vuonna 2009 päivittäiseen käyttöön otettu ensimmäinen ETT-ajoneuvo siirrettiin työstä Volvo-museoon Göteborgiin syyskuussa 2014. Autolla ajettiin yhteensä 1 400 000 kilometriä ja kuljetettiin yli 270 000 tonnia raakapuuta. Mikäli sama määrä puuta olisi kuljetettu tavallisilla puutavarayhdistelmillä, olisi polttoainetta kulunut 20 % enemmän (Volvotrucks.com 2014). Nykyisin tutkimusta jatketaan ETT-demo -projektina, joka koostuu 11 osaprojektista ja 25 ajoneuvoyhdistelmästä. ETT-demo -projektissa testataan useita erilaisia 74–100 tonnia painavia ja 24–30 metriä pitkiä suuren hyötykuorman ajoneuvoyhdistelmiä puun ja hakkeen kuljetuksessa eri puolilla Ruotsia (Metsähallitus 2013, Closer 2015).

4.2.2 DUO2-projekti

Ruotsissa on tutkittu myös kappaletavarakuljetusten tehostamista uudenlaisten yhdistelmäajoneuvojen avulla. Vuonna 2012 alkanut DUO2-tutkimusprojekti pyrkii selvittämään, voidaanko tavanomaista pidemmillä ja painavammilla ajoneuvoyhdistelmillä vähentää raskaan liikenteen päästöjä ja energiankulutusta aiheuttamatta negatiivisia vaikutuksia tiestöön, liikenneturvallisuuteen ja kuljettajien työmukavuuteen. Tavoitteet ovat siis yhteneväisiä ETT-projektin kanssa, mutta konteksti on raakapuukuljetusten sijasta kappaletavarakuljetuksissa ja toiminta-alueena Pohjois-Ruotsin sijaan Etelä-Ruotsi. Projektin toimijoina ovat muun muassa Volvo, DB Schenker ja sen alihankkijayritys Kallesbäck Transport, tutkimuskeskus CLOSER, ajoneuvotutkimus- ja -innovaatiolaitos FFI, Ruotsin liikennevirasto Trafikverket sekä erilaiset ajoneuvotekniikkaa ja -rakenteita valmistavat yritykset. (Cider & Ranäng 2013, Duo2.nu 2015a.)

Projektin yhteistyökumppanit kehittivät ja suunnittelivat kaksi erilaista ajoneuvoyhdistelmää kappaletavarakuljetusten tehostamiseksi. Ensimmäinen, DUO-Traileriksi nimetty ajoneuvoyhdistelmä koostuu vetoautosta, puoliperävaunusta, apuvaunusta eli dollystä ja toisesta puoliperävaunusta. DUO-Trailer -yhdistelmän pituus on 32,0 metriä ja maksimimassa 80 tonnia; yhdistelmän nettokapasiteetti on siis tilavuudeltaan kaksinkertainen perinteisiin puoliperävaunuyhdistelmiin verrattuna. DUO-Kärraksi kutsuttu toinen ajoneuvoyhdistelmä koostuu kuorma-autosta ja kahdesta keskiakseliperävaunusta. Yhdistelmän pituus on 27,5 metriä ja maksimipaino 66 tonnia. DUO-Kärra -yhdistelmälle myönnettiin liikennöintilupa vasta maaliskuussa 2015, joten sen osalta

kokemukset ovat rajallisemmat kuin DUO-Trailerista, joka on ollut liikenteessä vuodesta 2012 lähtien. DUO-Trailer -yhdistelmä on esitetty kuvassa 4.2 ja DUO-Käräyhdistelmä kuvassa 4.3. (Cider & Ranäng 2013.)



Kuva 4.2. DUO2-projektin vetoautosta, kahdesta puoliperävaunusta ja ne yhdistävästä dollysta koostuva DUO-Trailer -yhdistelmä (Duo2.nu 2015b).



Kuva 4.3. DUO2-projektin kuorma-autosta ja kahdesta keskiakseliperävaunusta koostuva DUO-Kärä -yhdistelmä (Duo2.nu 2015c).

Duo-trailer -yhdistelmäajoneuvolla ajettiin helmikuun 2012 ja maaliskuun 2015 välisenä aikana yhteensä noin 500 000 kilometriä Göteborgin ja Malmön välisellä reitillä DB Schenkerin terminaalien välisessä ajossa. Reitti on valtaosin 2+2-kaistaista moottoritietä. Vuonna 2012 DUO-trailerille myönnetty poikkeuslupa oli kolmevuotinen, ja lupaehtoisissa liikennöinti sallittiin vain iltaseitsemän ja aamukuuden välisenä aikana. Poikkeusluvan voimassaolo päättyi huhtikuussa 2015, jolloin kokeilu tällä ajoneuvoyhdistelmällä jäi tauolle. DUO-trailerille myönnettiin kuitenkin uusi poikkeuslupa liikennöinnin jatkamiseksi joulukuusta 2015 alkaen. Uudessa poikkeusluvassa liikennöinti on sallittu vuorokauden ympäri. Aikarajoituksen poistuttua lähtöaikaa voidaan tarvittaessa aikaistaa ja paluuaikaa myöhäistää, mutta pääosa DUO-trailer -yhdistelmän liikennöinnistä tapahtuu kuitenkin edelleen ilta- ja yöaikaan. (Cider & Ranäng 2013, Svensk åkeritidning 2015.)

DUO2-projektissa on seurattu erityisesti ajoneuvon vakautta, polttoaineen kulutusta, ajon sujuvuutta sekä akseli- ja kokonaismassoja. Lisäksi projektin edetessä on ryhdytty seuraamaan myös renkaiden ja jarrujen kulumista sekä rengaspaineita. Tulokset DUO-Trailer -ajoneuvoyhdistelmän osalta ovat olleet positiivisia. Tavoitteena ollut 15 pro-

sentin hiilidioksidipäästövähennys on ylittynyt reilusti; päästöt ovat olleet 27 prosenttia pienemmät verrattuna kahdella puoliperävaunuyhdistelmällä suoritettuihin kuljetuksiin. Myös polttoaineenkulutus ja kuljetuskustannukset ovat laskeneet vastaavasti. Muutoksia liikenneturvallisuudessa ei ole havaittu. Myös yhdistelmän stabiliteetti on havaittu hyväksi niin kuljettajien empiiristen kokemusten kuin sivuttaisliikemittaustenkin perusteella – sivuttaiskiiktyvyys ei ole missään vaiheessa ylittänyt 3 m/s^2 raja-arvoa. Liikennöinnissä havaitut haasteet ovat liittyneet lähinnä siihen, että alun perin yhdistelmän liikennöinti sallittiin ainoastaan iltaseitsemän ja aamukuuden välisenä aikana. Häiriöt liikenteessä tai terminaalitoiminnoissa aiheuttivat paineita kuljettajille, joiden tuli olla perillä Göteborgissa ennen poikkeusluvassa asetettua aamukuuden aikarajaa. Myös hyvin rajoitettu reitti on asettanut jonkin verran ongelmia. Mikäli liikenne esimerkiksi tietöiden tai liikenneonnettomuuden takia on ohjattu poikkeusreiteille, ei pitkällä yhdistelmällä liikennöinti ole ollut mahdollista, vaan kuljetus on suoritettu tavallisilla puoliperävaunuyhdistelmillä. (Cider & Ranäng 2013, Svensk åkeritidning 2015.)

4.2.3 Muut ruotsalaiset HCT-kokeilut

Edellä esiteltyjen En Trave Till- ja DUO2 -projektien lisäksi Ruotsissa on käytössä muitakin tavallista suuremman kapasiteetin omaavia ajoneuvoyhdistelmiä. On kuitenkin huomattava, että Suomen ja Ruotsin lainsäädännön eroavaisuuksien vuoksi Ruotsissa HCT-yhdistelmiksi kutsutaan tavallisesti yhdistelmiä, joiden pituus ylittää 24,0 metriä ja/tai kokonaispaino ylittää 60 tonnia. Esimerkiksi 74 tonnia painavia ja 24 metriä pitkiä raakapuuajoneuvoyhdistelmiä on käytössä eri puolella Ruotsia yhteensä yli kaksikymmentä. Lisäksi vastaavankokoisilla HCT-ajoneuvoilla kuljetetaan muun muassa kiviaineksia, haketta ja teräsrullia. (Closer 2015.)

Ajoneuvoyhdistelmiä, jotka ylittävät myös Suomen normaalin lainsäädännön asettamat rajat ja joita siten voitaisiin myös Suomessa kutsua HCT-yhdistelmiksi, oli huhtikuussa 2016 Ruotsissa käytössä ETT- ja DUO2-projektin ajoneuvojen lisäksi ainakin kuusi kappaletta. Scanian tutkimuslaboratoriolla on käytössään kaksi 31,5 metriä pitkää ajoneuvoyhdistelmää, joilla liikennöidään Södertäljen ja Malmön välillä. Yhdistelmät ovat konfiguraatioltaan DUO2-projektissa käytettävän DUO-Trailerin kaltaisia, sillä ne koostuvat vetoautosta, puoliperävaunusta, dollysta ja toisesta puoliperävaunusta (Lt.se 2014). Jula-niminen kuljetusyritys kuljettaa kontteja yhdellä 31,6 metriä pitkällä ja maksimissaan 60-tonnia painavalla yhdistelmäajoneuvolla Etelä-Ruotsissa Skarassa ja Falköpingissä sijaitsevien terminaalien välillä (Transportnet.se 2014). Braås-niminen yritys puolestaan kuljettaa kiviaineksia Götanmaalla 24-metrisellä yhdistelmällä, jonka maksimimassa on 80 tonnia. Lisäksi Burlink-niminen yritys kuljettaa kappaletavaraa Piteässä Smurfit Kappan tehtaan ja sataman välillä kahdella 80 tonnin kokonaismassan omaavalla ajoneuvoyhdistelmällä. Edellä mainittujen HCT-yhdistelmien lisäksi usealla liikennöitsijällä on suunnitelmissa lisätä 74-tonnisen yhdistelmän kantavuutta 90 tonniin asti. Lisäksi 40 kappaletta 90 tonnia kantavia ajoneuvoyhdistelmiä kuljetti malmia Kaunisvaaran kaivoksesta Pitkäjärven rautatieterminaaliin, kunnes kaivos suljettiin väliaikaisesti syksyllä 2014 malmien hinnan romahtamisen vuoksi. (Closer 2015, Skogforsk.se 2016.)

4.3 HCT-ajoneuvoihin liittyviä tutkimuksia

4.3.1 Raskaan ajoneuvon koon vaikutukset liikenneturvallisuuteen

HCT-ajoneuvoja on otettu käyttöön yleensä sen vuoksi, että niiden avulla kuljetusten energiatehokkuutta voidaan parantaa ja kuljetuskustannuksia sekä päästöjä vähentää. Nämä positiiviset vaikutukset on teoreettisesti helppo ymmärtää, ja esimerkiksi edellä esitellyt ETT- ja DUO2-tutkimusprojektit ovat osoittaneet myös käytännössä, että suuren hyötykuorman ajoneuvoyhdistelmillä voidaan saavuttaa niille asetettuja tavoitteita niin kuljetustalouden kuin ympäristöystävällisyydenkin osalta. Yksimielisyyttä ei kuitenkaan ole siitä, miten tavallista suuremmat ajoneuvoyhdistelmät vaikuttavat liikenneturvallisuuteen. Osa tutkijoista, poliitikoista ja kansalaisista pelkää HCT-ajoneuvon aiheuttavan vaaratilanteita esimerkiksi tunneleissa, liittymissä, kiertoliittymissä ja ohitustilanteissa. Tavallista pidempien ja painavampien ajoneuvoyhdistelmien joutuessa onnettomuuksiin saattavat seuraukset olla vakavampia kuin normaalikokoisten ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa. Toisaalta HCT-ajoneuvojen määrän lisääntyminen vähentäisi raskaiden ajoneuvojen kokonaismäärää tieverkolla, mikä todennäköisesti laskisi raskaiden ajoneuvojen onnettomuustodennäköisyyttä. HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksia liikenneturvallisuuteen on pyritty selvittämään erilaisten tutkimusten avulla, mutta tähän mennessä edellä mainittuja kiistanalaisia kysymyksiä ei ole luotettavasti voitu ratkaista tieteen keinoin. Tässä aliluvussa esitellään tärkeimpiä aiheesta tehtyjä tutkimuksia. (Sandin et al. 2014.)

Montufar et al. (2007) tutkivat HCT-yhdistelmien liikenneturvallisuutta Kanadan Albertassa vuosina 1999–2005. Kanadassa HCT-yhdistelmiksi lasketaan Rocky Mountain double-, Turnpike double- sekä Triple trailer combination-yhdistelmäajoneuvot, joiden pituudet ovat vastaavassa järjestyksessä 31, 38 ja 38 metriä. Tilastojen mukaan HCT-ajoneuvot olivat tutkimusaikana osallisena 106 onnettomuudessa, kun yhteensä onnettomuuksia tapahtui lähes 500 000. Onnettomuudet, joissa HCT-ajoneuvot olivat osallisina, olivat seurauksiltaan keskimääräistä lievempiä. HCT-yhdistelmien onnettomuusaste oli 25 onnettomuutta 100 miljoonaa ajettua kilometriä kohti, kun taas esimerkiksi puoliperävaunuyhdistelmille vastaava luku oli 42 ja henkilöautoille 83. Tutkimuksen mukaan HCT-ajoneuvot olivat kaikkein harvimmin onnettomuuksiin joutuva ajoneuvoryhmä, kun lukuihin laskettiin mukaan vain HCT-ajoneuvoille sallitulla tiestöllä sattuneet onnettomuudet. Kun onnettomuudet ryhmiteltiin tapahtuma-aikojen mukaan, huomattiin, että HCT-ajoneuvoille tapahtuu ajettuihin kilometreihin nähden useammin onnettomuuksia joului- ja toukokuun välisenä aikana kuin kesä- ja syyskuukausina. Keliolosuhteet olivatkin pääsyyinä noin 40 % HCT-ajoneuvoille sattuneisiin onnettomuuksiin. (Montufar et al. 2007.)

Knight et al. (2008) tutkivat, mitä vaikutuksia suurempien ajoneuvoyhdistelmien sallimisella olisi Isossa-Britanniassa, jossa puoliperävaunuyhdistelmien maksimipituus on 16,5 metriä ja kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmien maksimipituus on 18,75 metriä, kuten suurimmassa osassa Eurooppaa. Kuusiakselisen yhdistelmän enimmäismassa 44 tonnia. Tutkimuksen yhtenä osa-alueena oli arvioida kirjallisuuden ja tilastojen avulla, miten ajoneuvoyhdistelmien maksimipainon ja -pituuden kasvattaminen vaikuttaisi liikenneturvallisuuteen. Tutkijoiden mukaan Euroopassa ei ole tarpeeksi onnettomuustilastoja, joiden perusteella voitaisiin luotettavasti arvioida ajoneuvoyhdistelmien koon ja onnettomuusriskin yhteyttä. Knight et al. tutkivat Ison-Britannian poliisiviranomaisten raporttien perusteella raskaille ajoneuvoille sattuneita

onnettomuuksia, joissa onnettomuuden osapuolia oli kuollut tai vakavasti loukkaantunut. He vertasivat onnettomuusraportteja nettopaino- ja akselimäärätilastoihin teillä, joilla onnettomuudet olivat tapahtuneet. Tutkimuksen mukaan ajoneuvoyhdistelmien kasvava massa ei näytä lisäävän vakavia onnettomuuksia, mutta akselien määrän lisääntyminen kasvattaa hieman vakavien onnettomuuksien riskiä erityisesti alemmalla tieverkolla ja kaupunkialueilla. Tutkijat huomasivat lisäksi, että täysperävaunuyhdistelmät joutuvat selvästi kuorma-autoja ja puoliperävaunuyhdistelmiä useammin vakaviin onnettomuuksiin. (Knight et al. 2008.)

Knight et al. (2008) tutkivat kirjallisuuden avulla myös, miten ajoneuvoyhdistelmien maksimipainon kasvattaminen vaikuttaisi onnettomuuksien seurausten vakavuuteen. Onnettomuuden seurauksiin vaikuttavat erityisesti ajoneuvojen nopeudet ja massat sekä ajoneuvojen törmäystapa. Kirjallisuusselvityksen mukaan raskaan ajoneuvon ja henkilöauton törmäyksissä raskaan ajoneuvon painon kasvu ei merkittävästi lisää onnettomuuden vakavuusastetta, kun raskas ajoneuvo painaa yli 15 tonnia. Keskimääräisen 1,5 tonnia painavan henkilöauton ja 15 tonnia painavan raskaan ajoneuvon törmäyksessä nopeuden muutos kohdistuu lähes kokonaan henkilöautoon, joten raskaan ajoneuvon massan kasvattaminen ei merkittävästi muuta tätä onnettomuuden seurausten kannalta oleellista tekijää. Toisaalta Knight et al. toteavat, että viimeisimpien vuosikymmenten aikana tapahtunut kehitys henkilöautojen matkustajaturvallisuusjärjestelmissä on mahdollistanut sen, että henkilöautomatrustajat voivat selvitä hengissä törmäyksistä yhä painavampien ajoneuvojen kanssa. Tutkimuksen tuloksena on, että ajoneuvoyhdistelmien massojen ja mittojen kasvattaminen vaikuttaa onnettomuusriskiin, mutta tarkempi arviointi on hankalaa, sillä myös tietyyppi ja ajoneuvoyhdistelmän tyyppi vaikuttavat onnettomuuksien todennäköisyyteen ja niiden vakavuuteen. (Knight et al. 2008.)

Myös yhdysvaltalaisista onnettomuustilastoista on tehty tutkimusta, joka pyrkii selvittämään ajoneuvopituuden ja onnettomuusriskien välistä yhteyttä. Af Wåhlberg (2008) laski lyhyille, yhden peräkärryn ajoneuvoyhdistelmille ja pitkille, kahden peräkärryn ajoneuvoyhdistelmille suhteelliset onnettomuusriskit kolmessa eri onnettomuusluokassa: kaikki onnettomuudet, loukkaantumiseen johtaneet onnettomuudet ja kuolemaan johtaneet onnettomuudet. Af Wåhlbergin tutkimus eroaa edellä esitellystä Knightin tutkimuksesta sekä aiemmin Yhdysvalloissa suoritetuista tutkimuksista siinä, että tässä tutkimuksessa tietyyppin vaikutukset onnettomuuksien esiintymistodennäköisyyksiin otettiin huomioon vertailemalla vain samalla tietyyppillä tapahtuneita onnettomuuksia keskenään. Af Wåhlbergin tutkimuksen mukaan pitkät yhdistelmät joutuvat hieman lyhyitä yhdistelmiä useammin kuolemaan johtaneisiin onnettomuuksiin, mutta muissa onnettomuusluokissa lyhyiden ajoneuvoyhdistelmien onnettomuusriski havaittiin suuremmaksi kuin pitkien. Lyhyiden yhdistelmien korvaamisella pitkillä yhdistelmillä voitiin tutkimuksen mukaan todeta olevan positiivisia vaikutuksia liikenneturvallisuuteen. Af Wåhlberg totesi kuitenkin, että tietyissä liikenneympäristöissä, kuten esimerkiksi kaupunkialueilla, pitkät yhdistelmät voivat vaikuttaa liikenneturvallisuuteen myös negatiivisesti. Af Wåhlbergin huomasi tutkimuksessaan Knight et al. (2008) tutkimuksen kanssa yhtenevästi, että myös ajoneuvoyhdistelmän tyyppillä on vaikutusta onnettomuustodennäköisyyteen: yhdysvaltalaisien tilastojen mukaan puoliperävaunun vetämiseen tarkoitettut kuorma-autot ilman perävaunua olivat määräänsä suhteutettuna yliedustettuina onnettomuustilastoissa. (Af Wåhlberg 2008.)

Grislis (2010) on tutkinut HCT-ajoneuvojen ominaisuuksien vaikutusta liikenneturvallisuu-teen lähinnä kirjallisuuden avulla. Hänen mukaansa ajoneuvopituuden kasvu saat-taa vaikuttaa seuraaviin tekijöihin: ajoneuvoyhdistelmän tai perävaunun kaatumis-herkkyys, perävaunun liikerata ja oikaiseminen käännytessä, yhdistelmän sivuttais-heilunta, ajoneuvon kiihtyvyys ja nopeuden ylläpitäminen sekä yhdistelmän hidastu-vuus. Edellä mainitut seikat puolestaan saattavat osaltaan vaikuttaa turvallisuuteen. Mikäli yhdistelmän kokonaispituus kasvaa massan pysyessä samana, siirtyy massakes-kipisteen sijainti matalammalle, mikä vähentää kaatumisherkkyyttä ja parantaa siten turvallisuutta. Ajoneuvoyhdistelmän kokonaispituuden kasvaessa saattaa käännyt-essä vaadittu tila kasvaa suuremman pyyhkäisyalan myötä. Hiljaisessa nopeudessa tämä vaikuttaa Grislin mukaan lähinnä infrastruktuuriin, kuten risteysalueiden reu-nakiveyksiin, mutta turvallisuuden kannalta merkittävää muutosta ei tapahdu. Suu-riassa nopeuksissa pituuden kasvu saattaa lisätä yhdistelmän huojumista erityisesti no-peissa väistötilanteissa. Toisaalta jotkin HCT-yhdistelmäkonfiguraatiot ovat tutkimus-ten mukaan tältä osin perinteisiä kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmiä vakaampia. Pidemmät ajoneuvoyhdistelmät ovat kääntyessään tavallista yhdistelmää kauemmin risteysalueella. Grislin mukaan tämä voi vaikuttaa negatiivisesti turvalli-suuteen, ellei HCT-yhdistelmien kiihtyvyysominaisuuksia paranneta. Pidemmät ajo-neuvoyhdistelmät vaativat myös monimutkaisemmat jarrutusjärjestelmät, mikä saat-taa osaltaan vaikuttaa HCT-yhdistelmien turvallisuuteen. Grislin mukaan käyttämällä kehittyneempiä teknisiä ratkaisuja ja elektronisia jarrujärjestelmiä voidaan mahdolli-set turvallisuusriskit kuitenkin hallita. (Grislis 2010.)

Bálint et al. (2014) pyrkivät tutkimuksessaan selvittämään, millaisia liikenneturvalli-suusvaikutuksia HCT-ajoneuvoyhdistelmillä on. Tutkimuksensa ensimmäisessä osas-sa he analysoivat kirjallisuutta ja tilastoitua tietoa maista, joissa HCT-ajoneuvot ovat käytössä, ja pyrkivät selvittämään, ovatko HCT-yhdistelmät joutuneet ajosuoritteeseensa suhteutettuna tavallisia ajoneuvoyhdistelmiä useammin vakaviin henkilöva-hinko-onnettomuuksiin. Tutkijoiden mukaan johtopäätöksiä HCT-ajoneuvojen onnet-tomuustodennäköisyydestä on vaikeaa vetää, sillä osa tutkimuksista osoittaa HCT-ajoneuvoille hieman tavallisia yhdistelmiä korkeampaa todennäköisyyttä joutua onnet-tomuuksiin, kun taas toisten tutkimusten mukaan eroa tavanomaisiin ajoneuvoyhdis-telmiin ei ole. Analyysiä ja vertailua vaikeuttaa se, että tilastoissa raskaat ajoneuvot luokitellaan yhä useammin konfiguraationsa mukaan yhdistelmän kokonaispituuden sijasta. (Bálint et al. 2014.)

Tutkimuksen toisessa osassa tutkijat analysoivat ruotsalaisia henkilövahinko-onnetto-muustilastoja vuosilta 2003–2012. Tässä tutkimuksen osassa selvitettiin, tapahtuuko pitkille (18,76–25,25 m) ajoneuvoyhdistelmille enemmän henkilövahinko-onnetto-muuksia kuin keskipitkille (12,01–18,75 m) ja lyhyille (enintään 12,0 m) yhdistelmille. Tilastojen mukaan kymmenen vuoden seurantajakson aikana lyhyille yhdistelmille sat-tui 137 henkilövahinko-onnettomuutta miljardia ajoneuvokilometriä kohti. Keskipit-kille yhdistelmille vastaava luku oli 56 ja pitkille yhdistelmille 44. Lukujen perusteella voidaan todeta, että pitkät yhdistelmät joutuivat onnettomuuksiin lyhyitä ja keskipitkiä yhdistelmiä harvemmin. Tutkijat kuitenkin huomauttivat, että lukuja vertailtaessa tulee ottaa huomioon esimerkiksi se, että pidemmillä yhdistelmillä liikennöidään usein pa-rempilaatuisella päätieverkostolla ja pitkiä yhdistelmiä saattavat ajaa keskimäärin ko-keneemmat kuljettajat kuin lyhyitä yhdistelmiä. Niinpä näiden tekijöiden vaikutusta ly-hyitä ja keskipitkiä yhdistelmiä matalampiin onnettomuuslukuihin ei voida poissul-kea. (Bálint et al. 2014.)

Lisäksi Bálint et al. (2014) analysoivat Ruotsissa vuosina 2003–2012 raskaille ajoneuvoille tapahtuneita onnettomuuksia tarkempien onnettomuustietojen avulla ja selvittivät näin, mitkä ovat yleisimpiä onnettomuustyyppiejä eri pituusluokissa ja onko ajoneuvoyhdistelmän pituudella vaikutusta eri onnettomuustyyppien yleisyyteen. Tutkijat analysoivat yhteensä 192 onnettomuutta, joissa raskas ajoneuvo oli osallisena. 166 tapauksessa raskaan ajoneuvon pituudella ei ollut vaikutusta onnettomuuden syyhyn tai sen seurauksiin, kun taas lopuissa 26 tapauksessa raskaan ajoneuvon pituus oli luokiteltu mahdolliseksi osatekijäksi onnettomuuden syyhyn tai seurauksiin. Ajoneuvoyhdistelmän pituus mainittiin mahdolliseksi osatekijäksi onnettomuuden syyhyn tai sen seurauksiin useimmiten kohtaamisonnettomuuksissa, tieltä poistumiseen tai tielle liittymiseen liittyvissä onnettomuuksissa sekä risteysalueella tapahtuneissa onnettomuuksissa. Kun raskaat ajoneuvot ryhmiteltiin pituusluokkiin, havaittiin, että lyhyen ajoneuvoyhdistelmän pituus luokitellaan tilastojen perusteella harvemmin mahdolliseksi osatekijäksi onnettomuuden syntyyn tai sen seurauksiin kuin keskipitkän tai pitkän ajoneuvoyhdistelmän pituus. Keskipitkien ja pitkien ajoneuvoyhdistelmien välillä tilastollista eroa ei kuitenkaan havaittu. (Bálint et al. 2014.)

Kuten edellä esitellyistä tutkimuksista ja niiden tuloksista huomataan, ei pitkien ajoneuvoyhdistelmien ole tieteellisesti todistettu joutuvan lyhyitä ajoneuvoyhdistelmiä useammin liikenneonnettomuuksiin. Monissa tutkimuksista pitkien yhdistelmien onnettomuudet on sen sijaan havaittu harvinaisemmiksi kuin lyhyempien yhdistelmien onnettomuudet. Tutkimukset eivät kuitenkaan yleensä ota huomioon sitä, että pitkillä ajoneuvoyhdistelmillä ajetaan käyttötarkoituksensa vuoksi erilaisissa liikenneolosuhteissa kuin lyhyillä yhdistelmillä. Vertailukelpoisten onnettomuustodennäköisyyksien laskemiseksi tulisikin ottaa huomioon erilaisilla yhdistelmillä ajettujen kilometrien määrä kullakin tiettyypillä. Lisäksi tutkimukset eivät yleensä ota huomioon eroja lyhyiden ja pitkien yhdistelmien kuljettajien kokemuksessa ja osaamistasossa. Tämän vuoksi tutkimusten luvut eivät välttämättä kerro suoraan tietyn ajoneuvoyhdistelmätyypin absoluuttisesta onnettomuustodennäköisyydestä. Edellä esitellyissä tutkimuksissa oltiinkin yksimielisiä siitä, että ajoneuvoyhdistelmän onnettomuustodennäköisyyteen eivät vaikuta ainoastaan sen massa ja pituus, vaan muun muassa yhdistelmän tyyppi (esimerkiksi perävaunujen määrä), tiettyyppi ja kuljettajan ominaisuudet.

4.3.2 Ajoneuvopituuden vaikutukset ohittamiseen

Koska ohitettavan ajoneuvon pituuden kasvaessa ohituksen kesto pitenee, on mahdollista, että tavallista pidempien ajoneuvoyhdistelmien määrän kasvu lisää ohittamisonnettomuuksia (Sandin et al. 2014). Ohittamiseen sisältyy riskejä erityisesti kaksikaistaisilla teillä, joilla ohittava ajoneuvo siirtyy ohituksen ajaksi vastaantulevan liikenteen kaistalle. Mikäli vastaantulevan liikenteen kaistalla kohdataan ajoneuvo, voi seurauksena olla ajautuminen ulos tieltä, törmäminen vastaantulevaan ajoneuvoon tai törmäminen ohitettavan tai jonkin muun samaan suuntaan ajavan ajoneuvon kanssa pyrittäessä keskeyttämään ohitus tai nopeuttamaan sitä (Sparks et al. 2000). HCT-ajoneuvoista puhuttaessa vaikutukset ohitukseen ja ohitusturvallisuuteen nousevat usein esille. Toisaalta pitkän ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen vaatii pidemmän matkan ja ajan kuin lyhyen ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen, kun taas toisaalta pitkien yhdistelmien määrän lisääntyminen vähentää tarvittavien ajoneuvoyhdistelmien kokonaismäärää, mikä puolestaan vähentää ohittamisen tarvetta. Tässä aliluvussa esitellään lyhyesti tutkimuksia, jotka käsittelevät ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutusta ohitukseen ja ohitusturvallisuuteen. Aiemmin tehtyjen ohitustutkimusten esittely on tärkeää, sillä myös yksi tämän tutkimusprojektin päätavoitteista on selvittää ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutusta ohituskäyttäytymiseen.

Hammarström (1976) videonauhoitti 18 ja 24 metriä pitkien ajoneuvoyhdistelmien ohituksia Ruotsissa kaksikaistaisilla teillä ja pyrki analysoimaan ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutusta ohitusturvallisuuteen. Ohitusturvallisuuden epäsuorana indikaattorina Hammarström käytti turva-aikaa (meeting margin), jonka hän määritteli tarkoitettavan aikaa ohituksen loppumisesta vastaantulevan ajoneuvon kohtaamiseen. Hammarströmin oletuksen mukaan pidempi turva-aika pienentää onnettomuusriskiä. Tutkimuksessa määriteltiin ohitus päättyneeksi, kun ohittava ajoneuvo oli siirtynyt kymmenen metriä ohitettavan ajoneuvon edelle. Hammarström jakoi ohitukset kahteen luokkaan sen mukaan, tapahtuivatko ne poikkileikkaukseltaan kapeammilla vai leveämmillä kuin 10,5 metriä leveillä teillä. Tutkimuksessa analysoitiin kaikki kapeammilla teillä havaitut ohitukset, joissa turva-aika oli enintään 7 sekunnin mittainen ja havaittiin, että lyhyiden ja pitkien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten välillä turva-ajoissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Keskimääräinen turva-aika 18-metrisen yhdistelmän ohituksissa oli 4,5 sekuntia ja 24-metrisen yhdistelmän ohituksissa 4,3 sekuntia. Tien poikkileikkauksen havaittiin vaikuttavan turva-aikoihin, sillä turva-ajat leveämmän poikkileikkauksen teillä olivat selvästi lyhyempiä kuin kapeammilla teillä. Toisaalta leveämmän poikkileikkauksen tiet olivat niin sanottuja leveäkaistateitä, joilla ohittava ajoneuvo voi kohdata vastaantulijan jo ennen ohituksen päättymistä. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin, että turva-ajat pitenevät kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa 0,7–0,8 sekunnilla, mikäli ohitettavat ajoneuvoyhdistelmät varustettiin niiden pituutta osoittavilla kylteillä. (Hammarström 1978.)

Myös Troutbeck (1981) on tutkinut ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutusta ohitukseen. Troutbeck videonauhoitti Australiassa kaksikaistaisilla teillä tapahtuneita ohituksia ja jakoi ohitukset ohitettavan ajoneuvon pituuden mukaan viiteen luokkaan (5, 16, 18, 20 ja 21 metriä). Troutbeck vertaili ohitusten turva-aikoja, jotka hän määritteli tarkoittamaan aikaa siitä hetkestä, kun ohittanut ajoneuvo palasi kokonaan omalle kaislalleen siihen hetkeen, kun ohittanut ajoneuvo kohtasi vastaantulijan. Tutkimuksen mukaan turva-aikojen jakaumissa ei ollut eroa, kun ohitettavan ajoneuvon pituus ylitti 16 metriä. Sen sijaan Troutbeckin mukaan turva-aikoihin vaikutti ensisijaisesti tien liikennemäärä: liikennemäärän kasvaessa ohittajat olivat valmiita hyväksymään yhä lyhyempiä turva-aikoja, jolloin keskimääräiset turva-ajat lyhenivät. Tutkimuksessa analysoitiin kaikki enintään 30 sekunnin mittaiset turvavälit, jolloin yleisin turva-aika oli noin 4,5 sekuntia ja turva-aikojen keskiarvo puolestaan noin 10 sekuntia. Ohitettavan ajoneuvon nopeus ohitushetkellä oli 60–80 km/h, ja vallitseva nopeusrajoitus oli 110 km/h. (Troutbeck 1981.)

Sparks et al. (1993) puolestaan tutkivat ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutusta ohittavien kuljettajien vaatimiin ohitusnäköihin kehittämänsä simulaatiomallin avulla. Erityisesti tutkimuksessa vertailtiin 23-metrinen yhdistelmän ohittamisessa vaadittua näkemää 25-metrinen yhdistelmän ohittamisessa vaadittuun näkemään, sillä tutkimuksen tekohetkellä Kanadassa harkittiin yhdistelmäajoneuvojen sallitun maksimipituuden nostamista 23 metristä 25 metriin niissä osavaltioissa, joissa maksimipituusraja ei vielä ollut nostettu. Tutkimuksen mukaan yhdistelmäajoneuvoa ohitettaessa vaaditaan noin 40 % pidempi ohitusnäkemä kuin henkilöautoa ohitettaessa. Ohitettavan yhdistelmäajoneuvon pituuden kasvattaminen 8,7 prosentilla 23 metristä 25 metriin kasvatti keskimääräistä ohitusnäkövaatimusta kuitenkin ainoastaan 2,9 %. Tutkijat pitivät kasvua merkityksettömänä, kun huomioon otettiin mallin epätarkkuustekijät. Ajoneuvopituuden sijaan ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon nopeusero havaittiin ohitusnäkövaatimukseen selvimmin vaikuttavaksi tekijäksi. (Sparks et al. 1993.)

Myöhemmin Sparks et al. (2000) tutkivat myös HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksia ohituskäyttäytymiseen ja liikenneturvallisuuteen. Simulointiohjelmisto TARAn avulla tutkittiin mitä seurauksia 40-metrinen turnpike double -ajoneuvoyhdistelmien yöaikaisen liikennöinnin sallimisella Kanadan tieverkon valtatiellä 7 olisi. Tutkijat tarkkailivat ohituksen aloittamiseksi vaadittua näkemää ja ajoneuvoista vapaata väliä vastaantulevan kaistan liikennevirrassa, ohitusten kestoa sekä turva-aikaa ohituksen loppumisen ja seuraavan vastaantulevan ajoneuvon kohtaamishetken välillä. Tutkijat havaitsivat, että keskimääräinen turva-aika henkilöautoja ja normaalipituisia ajoneuvoyhdistelmiä ohitettaessa oli 6–7 sekuntia, kun taas turnpike double -yhdistelmiä ohitettaessa keskimääräinen turva-aika oli 32 sekuntia. Ohittajat vaativat siis huomattavasti pidempiä ohitusnäkemää ja välejä vastaantulevassa liikennevirrassa ohittaakseen tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän. Turnpike double yhdistelmillä liikennöinti sallittiin vain iltayhdeksän ja aamuseitsemän välisenä aikana, joten jononmuodostus yöliikenteessä lisääntyi hieman. Päiväaikana viivytettynä ajaminen väheni kuitenkin huomattavasti enemmän, sillä yhdellä turnpike double yhdistelmällä pystyttiin korvaamaan kaksi normaalikokoista ajoneuvoyhdistelmää, joten raskaiden ajoneuvojen määrä päiväliikenteessä väheni enemmän kuin niiden määrä yöliikenteessä kasvoi. Lisäksi liikennemäärät ylipäätään olivat yöaikaan huomattavasti vähäisempiä. Tutkijoiden mukaan turnpike double -yhdistelmien salliminen yöaikaan vaikuttaisi liikenneturvallisuuteen kaikkiaan positiivisella tavalla. (Sparks et al. 2000.)

Barton ja Morrall (1998) puolestaan selvittivät tutkimuksessaan edellytyksiä, joita yli 25-metrinen ajoneuvoyhdistelmien liikennöinti Kanadan Albertan kaksikaistaisilla valtateillä vaatii. Erityisesti tutkimuksessa selvitettiin, millaisilla liikennemäärillä tavallista pidemmillä ajoneuvoyhdistelmillä liikennöinti ei vielä vaikuta merkittävästi liikenteen sujuvuuteen ja turvallisuuteen. Tutkijoiden mukaan esimerkiksi kaksikaistaisella tieosuudella, jolla ei ole ohituskieltoalueita, tulisi liikennemäärän olla enintään 425 ajoneuvoa tunnissa, jotta yli 30 metriä pitkät ajoneuvoyhdistelmät eivät vaikeuttaisi merkittävästi ohittamista. Toisaalta mikäli ohituskaistoja olisi vähintään 20 % tieosan pituudesta, voisi kokonaisliikennemäärä olla lähes kaksinkertainen; 734 ajoneuvoa tunnissa. Ohituskaistojen lisääminen erityisesti nousuihin todettiin tehokkaaksi keinoksi varmistaa liikenteen sujuvuus myös tavallista pidempien ajoneuvoyhdistelmien yleistessä. (Barton & Morrall 1998.)

Hanley ja Forkenbrock (2005) kehittivät aiemmin tehtyjen ohitusmallien pohjalta uuden stokastisen mallin, joka pyrki ottamaan huomioon ohitettavien autojen pituuksien ja nopeuksien, vastaan tulevan liikenteen määrän ja ohitusmahdollisuutta odottavien autojen määrän satunnaisen vaihtelun. Aikaisemmat mallit olivat tutkineet ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutusta ohitusnopeuksiin, -matkoihin ja -näkemisiin, mutta käyttäneet ajoneuvojen suorituskyyvylle ja kuljettajien ominaisuuksille tilastollisia keskiarvoja. Simulointimallissaan Hanley ja Forkenbrock pyrkivätkin toistamaan liikennevirrassa sekä ajoneuvojen ja kuljettajien ominaisuuksissa esiintyvän satunnaisvaihtelun luotettavampien tulosten saamiseksi. Heidän tutkimuksensa mukaan tavallista pidempien ajoneuvojen yleistymisen kaksikaistaisilla teillä saattaa olla turvallisuusriski, sillä todennäköisyys ohitusten epäonnistumiseen kasvaa ohitettavien ajoneuvojen pituuden kasvaessa. Toisaalta tutkimuksessa oletettiin, että ohittajien ohituksen aloittamiseksi vaatima väli vastaantulevassa liikennevirrassa ei kasvaisi ohitettavan ajoneuvon pituuden kasvaessa. Mikäli ohittaja hyväksyy keskimääräisen 17,28 sekunnin pituisen välin sekä 19,8-metrinen ajoneuvoyhdistelmän että 35,6-metrinen ajoneuvoyhdistelmän ohituksessa, on ohituksen epäonnistumisen todennäköisyys tutkijoiden mukaan pitkän yhdistelmän tapauksessa 2–6 kertaa suurempi. Tutkijoiden mukaan henki-

löautojen kuljettajat joko ottavat suurempia riskejä HCT-ajoneuvojen ohituksissa ajamalla vastaantulevan liikenteen kaistalla pidemmän aikaa tai suuremmalla nopeudella kuin tavallisten ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa tai välttävät riskinottoa odottamalla pidempää vapaata aikaväliä vastaantulevassa liikennevirrassa. (Hanley & Forkenbrock 2005.)

Andersson et al. (2011) suorittivat luvussa 4.2.1 esiteltyyn En Trave Till (ETT) -projektiin liittyen tutkimuksen liikenneturvallisuudesta 30-metrinen ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa. Tutkimuksessa käytettiin neljää eri metodia: normaalikokoisten yhdistelmäajoneuvojen kuljettajien haastattelua, 30-metrinen ETT-ajoneuvoyhdistelmän kuljettajien haastattelua, ohitustilanteiden simuloimista ajoneuvosimulaattorilla sekä todellisella tieverkolla tapahtuvien ohitusten videointia ja videomateriaalin jälkianalysointia. Normaalikokoisten ajoneuvoyhdistelmien kuljettajat uskoivat 30-metrinen yhdistelmien aiheuttavan liikenneturvallisuusongelmia erityisesti konfliktitilanteissa tavallisten tienkäyttäjien kanssa, mutta ETT-ajoneuvon kuljettajat eivät kuitenkaan olleet kokeneet kyseisenlaisia ongelmia. Lisäksi he mainitsivat, että monet mahdollisista ongelmista voidaan ratkaista paremmalla ennakkoinnilla. (Andersson et al. 2011.)

Tutkimuksen simulointiosassa tutkittiin sekä 30,4-metrinen että 18,75-metrinen ajoneuvon ohittamista 2+1-kaistaisella tiellä ajoneuvosimulaattorin avulla. Tutkimuksen mukaan ohituspäätöstä tehtäessä ohitettavan ajoneuvon pituus ei ole merkitsevä tekijä, sen sijaan ohituspäätös perustuu jäljellä olevan ohituskaistan pituuteen ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän takapästä mitattuna. Mitä enemmän ohituskaistaa on jäljellä, sitä enemmän ohituksia tapahtuu riippumatta ohitettavan ajoneuvon pituudesta. Mikäli sekä pitkän että normaalipituisten ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen aloitetaan yhtä pitkän etäisyyden päästä ohituskaistan päätepisteeseen nähden, on turvalliseen ohitukseen käytettävissä oleva aika pitkän ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa lyhyempi kuin 18,75-metrinen yhdistelmän ohituksessa. Tutkijoiden mukaan on mahdollista, että ohitukseen liittyvät vaaratilanteet yleistyvät pitkien ajoneuvoyhdistelmien määrän kasvaessa, mikäli autoilijoilla on vaikeuksia arvioida ohitettavien ajoneuvojen pituuksia. Simulointitutkimuksen aineisto oli kuitenkin verrattain pieni ja ohituksia tutkittiin vain ohituskaistallisilla teillä, joten yleistettäviä johtopäätöksiä ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutuksesta ohitusturvallisuuteen ei voitu tehdä. (Andersson et al. 2011, Andersson et al. 2012.)

Tutkimuksen kenttätutkimusosiossa 30-metrinen ETT-yhdistelmä ja 24 metriä pitkä vertailuyhdistelmä varustettiin videokameroilla. Kuuden kuukauden tutkimusajanjakson aikana kertynyttä materiaalia analysoimalla tutkittiin ajoneuvoyhdistelmän pituuden vaikutusta ohitustilannetta kuvaaviin parametreihin, kuten turva-aikaan sekä ohitettavan ja ohittavan ajoneuvon nopeuksiin ohituksen aikana. Tutkimuksen kohteena olleella 50 kilometrin pituisella kaksikaistaisella tieosuudella ETT-yhdistelmä ohitettiin 1078 kertaa ja vertailuyhdistelmä 265 kertaa. Tutkimuksen kohteena oli myös 48 kilometriä pitkä 2+1-kaistainen tie, jolla ETT-yhdistelmä ohitettiin 240 kertaa ja vertailuyhdistelmä 119 kertaa. Vertailuyhdistelmän ohitusten vähäisempi määrä johtui siitä, että yhdistelmällä ajettiin suurimmaksi osaksi tutkittavan tieosuuden ulkopuolella. (Andersson et al. 2011.)

Ohitusten analyysissä havaittiin, että tavallisella kaksikaistaisella tiellä 30-metrinen ETT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa turva-ajat olivat hieman useammin kriittisellä tasolla kuin 24 metriä pitkän vertailuyhdistelmän ohituksissa. Tutkimuksessa turva-aika määriteltiin ajaksi, joka kului siitä hetkestä, jolloin ohittaneen ajoneuvon takapään ja ohitettavan yhdistelmäajoneuvon etupään välinen etäisyys oli 2 metriä, siihen hetkeen, kunnes ohittanut ajoneuvo kohtasi vastaantulijan. Turva-ajan määriteltiin olevan kriittisellä tasolla, kun ohituksen loppumisesta seuraavan vastaantulevan ajoneuvon kohtaamiseen oli enintään kolme sekuntia. Havaintojen mukaan tätä lyhyemmällä turva-ajoilla ohitettava ajoneuvoyhdistelmä ja/tai vastaantuleva ajoneuvo joutuivat jarruttamaan tai tekemään väistöliikkeitä helpottaakseen ohituksen turvallista loppuunsaattamista. 2+1-kaistaisilla tieosuuksilla turva-aika määriteltiin ohituksen päättymisajan ja ohituskaitaan päätepisteen saavuttamisen ajanhetken välisenä aikavälinä ja turva-aikojen määriteltiin olevan kriittisellä tasolla, mikäli ne olivat negatiivisia. Käytännössä negatiivinen turva-aika tarkoitti siis sitä, että ohitus päättyi vasta ohituskaitaan päättymisen jälkeen. Kriittisen turva-ajan esiintymistiheydessä ei havaittu eroa 30-metrinen ja 24-metrinen yhdistelmien ohitusten välillä. Sekä kaksikaistaisilla että ohituskaitallisilla teillä ohittavan ajoneuvon nopeus havaittiin riippumattomaksi ohitettavan ajoneuvon pituudesta. (Andersson et al. 2011.)

Osaan ETT-ajoneuvoyhdistelmän ohittaneiden ajoneuvojen kuljettajista otettiin puhelimitse yhteyttä ohitustapahtumaa seuraavina päivinä. Henkilöauton kuljettajien haastatteluissa selvisi, etteivät he olleet kokeneet 30 metriä pitkän yhdistelmän ohittamista turvallisuuden kannalta ongelmalliseksi. Osa vastanneista ei ollut edes huomannut ohittaneensa tavallista pidemmän yhdistelmäajoneuvon. Yhteenvetona tutkimuksestaan Andersson et al. (2011) totesivat, että normaalia pidemmät ajoneuvoyhdistelmät saattavat tuoda mukanaan liikenneturvallisuusongelmia ohitustilanteisiin liittyen, mutta koska tutkimusaineisto oli pieni ja ohitukset tapahtuivat samankaltaisissa olosuhteissa ja tilanteissa, on laajempien johtopäätösten tekeminen mahdotonta. Lisäksi tutkijat huomauttavat, että mikäli pidemmät ajoneuvoyhdistelmät lisääntyvät, vaikuttaa vähenevä raskaiden ajoneuvojen kokonaismäärä edelleen liikenneturvallisuuteen. (Andersson et al. 2011.)

Voidaan todeta, että ajoneuvopituuden vaikutusta ohituksiin on tutkittu jonkin verran, mutta selkeää kuvaa vaikutussuhteesta ei ole saatu. Toisaalta tämä on ymmärrettävää, sillä ohituskäyttäytymiseen vaikuttavat monet tekijät keliolosuhteista, liikennemäärästä, tietyypistä ja ohittavan sekä ohitettavan ajoneuvon ominaisuuksista kuljettajien ominaisuuksiin (Hanley & Forkenbrock 2004). Ensimmäiset ajoneuvopituuden ja ohitusten välistä riippuvuutta selvittäneet tutkimukset ovat olleet kenttätutkimuksia todellisissa liikennetilanteissa. 1970- ja 1980-luvuilla tehtyjen kenttätutkimusten jälkeen ajoneuvojen ominaisuudet ovat kehittyneet huomattavasti, joten sen aikaiset tulokset eivät välttämättä kuvaa nykytilaa oikein. Tietotekniikan kehittyessä erilaiset simulatiotutkimukset ovat yleistyneet pääasiallisena tutkimusmuotona. Simuloinnit eivät kuitenkaan välttämättä pysty toistamaan liikennevirran, ajoneuvojen ja kuljettajien ominaisuuksissa esiintyvää satunnaisvaihtelua riittävän tarkasti. Niinpä modernit kenttätutkimukset HCT-ajoneuvojen vaikutuksesta ohituksiin voidaan katsoa tarpeelliseksi. Tällaista tutkimusta on viime vuosina tehty lähinnä Ruotsissa (Andersson et al. 2011), mutta tutkijoiden mukaan tutkimusaineisto on ollut verrattain suppea laajempien johtopäätösten vetämiseksi.

4.3.3 Muita HCT-ajoneuvoihin liittyviä tutkimuksia

Tavallista painavampia ja pidempiä yhdistelmäajoneuvoja on tutkittu myös monista muista kuin liikennevirran ominaisuuksien näkökulmasta. Muun muassa HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksia tiestöön, kuljetustalouteen, muihin liikennemuotoihin, ympäristöön ja logistiikkaan sekä HCT-ajoneuvoihin liittyvää ajoneuvotekniikkaa on tutkittu. Myös HCT-ajoneuvojen tulevaisuudennäkymiä ja potentiaalia erilaisiin käyttötarkoituksiin on selvitetty. Koska tämän tutkimuksen aiheena ovat nimenomaan HCT-ajoneuvojen vaikutukset liikennevirtaan, ei muista näkökulmista tehtyjen tutkimusten tarkempaa esittelyä ole katsottu tarpeelliseksi. Tässä aliluvussa on kuitenkin lyhyesti mainittu joitakin merkittäviä HCT-ajoneuvoihin liittyviä tutkimuksia, jotta lukijat voivat niin halutessaan löytää helposti myös muista näkökulmista tehtyjä tutkimuksia tavallista suurempiin ajoneuvoyhdistelmiin liittyen.

HCT-ajoneuvojen määrä on kasvussa, sillä niiden avulla tieliikennekuljetusten ympäristöystävällisyyttä ja taloudellisuutta voidaan parantaa. HCT-ajoneuvojen määrän lisääntyminen saattaa kuitenkin siirtää kuljetuksia rautateiltä maanteille, mikä puolestaan saattaa aiheuttaa tavoiteltujen ympäristö- ja taloudellisuushyötyjen pienene mistä, kun liikennejärjestelmää katsotaan kokonaisuutena. Gröndahl (2012) on tutkinut HCT-kuljetusten hyötyjä ja haittoja tavallisiin maantiekuljetuksiin sekä rautatiekuljetuksiin nähden erityisesti ympäristövaikutusten ja kuljetuskustannusten kannalta. Mellin ja Ståhle (2010) ovat puolestaan tutkineet pidempien ja painavampien maantiejä rautatieajoneuvojen liiketoimintaympäristöä ja analysoineet HCT-kuljetusten tulevaisuudennäkymiä sekä sitä, millaisille ajoneuvoille on todennäköisesti tarvetta 2030-luvulla. Ye ja Shen (2014) tutkivat HCT-ajoneuvojen potentiaalia intermodaalikuljetuksissa vertailemalla normaalilla ajoneuvoyhdistelmällä suoritettua maantiekuljetuksen ja rautatiekuljetuksen muodostamaa intermodaalikuljetusta, HCT-ajoneuvoyhdistelmällä suoritettua maantiekuljetuksen ja rautatiekuljetuksen muodostamaa intermodaalikuljetusta sekä tavallisella ajoneuvoyhdistelmällä suoritettua maantiekuljetusta. Ilgner ja Benrick (2014) puolestaan tutkivat HCT-ajoneuvojen potentiaalia kuljetusten tehostamiseen kahden ruotsalaisen esimerkkiyrityksen tapauksessa.

Raskaiden ajoneuvojen kokoa voidaan säädellä lainsäädännössä eri tavoilla. Yleinen tapa on määritellä suurimmat sallitut mitat ja massat täsmällisesti. Australiassa, Uudessa-Seelannissa ja Kanadassa tarkkoja enimmäismittoja ja -massoja ei kuitenkaan ole määritetty, vaan käytössä ovat suorituskykyyn perustuvat standardit (Performance Based Standards). Laissa voidaan edellyttää tiettyjen toiminnallisten kriteerien, kuten esimerkiksi tarpeeksi pienen kääntösäteen tai akselikuormituksen täyttämistä, mutta ajoneuvojen valmistajat voivat itse suunnitella, miten lain edellyttämä kriteeri täytetään. Suorituskykyyn perustuvien standardien käytöllä pyritään joustavuuteen ja uusien, innovatiivisten ratkaisujen löytämiseen. Kharrazi et al. (2015) ovat kehittäneet suorituskykyyn perustuvia standardeja Ruotsissa käyttöön otettaviksi.

Suomessa HCT-ajoneuvoyhdistelmistä on valmistunut vielä verrattain vähän tutkimuksia. Korpilahti ja Venäläinen (2015) ovat tehneet Työ- ja elinkeinoministeriölle esiselvityksen HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksesta puutavarakuljetusten tehostamisessa. Selvityksessä on käyty läpi puukuljetusten logistiikkaa Suomessa sekä kuljetusten vaikutuksia muun muassa turvallisuudelle ja infrastruktuurille. Lisäksi on vertailtu erilaisia HCT-konsepteja puutavaran kuljettamiseksi ja laadittu näiden pohjalta johtopäätöksiä ja toimenpidesuosituksia HCT-kuljetuksille Suomessa. Saarenketo et al. (2012) puolestaan tutkivat erilaisten ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksia tiestölle Kainuunsaaran rautamalmikaivoksen kuljetusjärjestelmän kehittämiseksi ja arvioimiseksi.

Lehtinen (2015) tutki diplomityössään puoliperävaunun vetoautosta, puoliperävau-
nusta, dollysta ja toisesta puoliperävauhasta muodostetun HCT-ajoneuvoyhdistelmän
epälineaarista sivuttaisdynamiikkaa liukkaissa olosuhteissa. Simuloinneilla suorite-
tussa tutkimuksessa havaittiin, että liukkaissa olosuhteissa ja korkeilla ajonopeuksilla
kyseinen ajoneuvoyhdistelmätyyppi on suhteellisen epästabiili.

Jo valmistuneiden tutkimusten lisäksi Suomessa on tällä hetkellä tekeillä joitakin HCT-
ajoneuvoyhdistelmiä koskevia tutkimuksia. Oulun yliopistossa tutkitaan puutavarakul-
jetuksissa käytettävien HCT-yhdistelmien ajostabiliteettia verrattuna 60- ja 76-tonnis-
ten puutavarayhdistelmien stabiliteettiin. Tutkimustietoa kerätään mittauksilla niin
tie- kuin suljetuilla alueilla, simulaatioilla sekä keräämällä kuljettajien kokemuksia.
Oulun yliopiston tutkimuksessa tutkitaan myös muun muassa renkaiden kulumista ja
tie- ja siltarasituksia. Lisäksi Metsäteho ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto ovat
aloittaneet tutkimuksen, jossa muun muassa mallinnetaan HCT-terminaalien käyttöä
ja vaikutusta puutavaran kokonaislogistiikkaan. Lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan
muun muassa polttoaineenkulutusta ja päästöjä. (Lahti & Tantt 2016.)

5 Tutkimusmateriaalin kerääminen ja analysointi

5.1 Esiselvitys mahdollisista tutkimuskohteista

Aalto-yliopiston tutkimusprojekti HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksista liikennevirtaan alkoi esiselvityksellä, joka suoritettiin alkukesän 2014 ja loppukesän 2015 välisenä aikana. Esiselvityksessä muun muassa kartoitettiin tavallista suuremmille ajoneuvoyhdistelmille poikkeusluvan saaneita tai lähitulevaisuudessa saavia yrityksiä sekä näiden valmiuksia tutkimusyhteistyöhön. Esiselvityksessä todettiin, että kesäkuussa 2015 Suomessa oli neljä kuljetusyritystä, joille Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi oli myöntänyt poikkeusluvan tavallista suuremmilla ajoneuvoyhdistelmillä liikennöintiin. Konttikuljetuksiin erikoistuneelle Speed Oy:lle oli myönnetty lupa neljälle HCT-ajoneuvoyhdistelmälle rahdin kuljettamiseen merikonteissa Helsingin Vuosaaren ja Kotkan Mussalon satamista muun muassa Tampereen, Lahden ja Lappeenrannan seuduille. Valkealaiselle Orpe Kuljetus Oy:lle oli puolestaan myönnetty poikkeuslupa raakapuunkuljetukseen tarkoitetulle HCT-yhdistelmälle Saimaan ympäristön metsäteollisuuslaitosten ja puutavaraterminalien väliseen liikenteeseen. Raakapuun kuljetukseen erikoistuneelle Ketosen Kuljetus Oy:lle oli myönnetty lupa HCT-ajoneuvolla liikennöimiseen Lapissa. Mikko Niskala Oy:lle oli puolestaan myönnetty poikkeuslupa Keskon päivittäistavaroiden kuljetukseen HCT-ajoneuvoyhdistelmällä Vantaan ja Kempeleen välillä. Edellä mainittujen yritysten HCT-ajoneuvoyhdistelmät olivat esiselvityksen valmistuessa kesällä 2015 liikenteessä lukuun ottamatta Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmää, joka odotti valmistumistaan ja aloitti liikennöinnin lokakuussa 2015. Edellä mainittujen poikkeusluvan saaneiden yritysten lisäksi Trafín käsittelyssä oli useita muita poikkeuslupaa hakevia yrityksiä.

Tutkimuskohteiden valintaa hankaloitti se, ettei esiselvitysvaiheen aikana ollut selvää, mitkä yritykset tulisivat saamaan poikkeuslupia ja millä aikataululla poikkeuslupia myönnettäisiin. Esiselvitysvaiheessa esimerkiksi suunniteltiin yhdeksi tutkimuskohteeksi Itä-Suomessa toimivaa, raakapuun kuljetukseen poikkeuslupaa hakenutta yritystä, jolle Trafi ei kuitenkaan lopulta myöntänyt poikkeuslupaa. Niinpä tutkimuskohteet valittiin lopulta niiden toimijoiden joukosta, joille poikkeuslupa oli esiselvitysvaiheen päättyessä jo myönnetty. Tutkimuksen kohteiksi valittiin kolme kuljetusyritystä ja reittiä: Orpe Kuljetus Oy:n ja Ketosen Kuljetus Oy:n raakapuunkuljetukset sekä Mikko Niskala Oy:n päivittäistavarakuljetukset. Valinnan tärkeimpinä perusteina toimivat kyseisten yritysten maantieteellinen sijoittuminen eri puolille Suomea, eroavaisuudet yritysten käyttämien HCT-ajoneuvoyhdistelmien välillä sekä HCT-yhdistelmillä liikennöitävien reittien erilaisuus ja oletettu mielenkiintoisuus tutkimuksen aihepiiriin kannalta. Konttirahdin kuljettamiseen luvan saaneita HCT-ajoneuvoyhdistelmiä ei valittu tutkimuskohteiksi, sillä niiden reiteillä oli paljon 2+2-kaistaisia tieosuuksia, joita ei nähty tutkimuksen kannalta yhtä mielenkiintoisiksi kuin kaksikaistaiset tieosuudet.

Tutkimuksen kannalta olennaista oli myös löytää kullekin HCT-ajoneuvoyhdistelmälle samalla tai vastaavalla reitillä liikennöivä normaalikokoinen verrokkiyhdistelmä. Ketosen Kuljetus Oy:n ja Mikko Niskala Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmien verrokki ajoneuvoiksi saatiin normaalikokoiset yhdistelmäajoneuvot yritysten omista kalustoista. Orpe Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän verrokkiyhdistelmäksi saatiin puolestaan Kuljetus Szepaniak Oy:n pääasiassa puuhaketta kuljettava yhdistelmäajoneuvo. Tutkimuksen kohteeksi valitut ajoneuvoyhdistelmät ja reitit on esitetty tiivistetysti kuvassa 5.1. Tarkempi yritys- ja reittikohtainen kuvaus tutkimuskohteista on esitetty luvuissa 5.2.1–5.2.3. Tutkimusmateriaalin keräämisessä käytetty tutkimuslaitteisto on esitelty luvussa 5.3 ja tutkimusmateriaalin analysointimenetelmää on käsitelty luvussa 5.4.

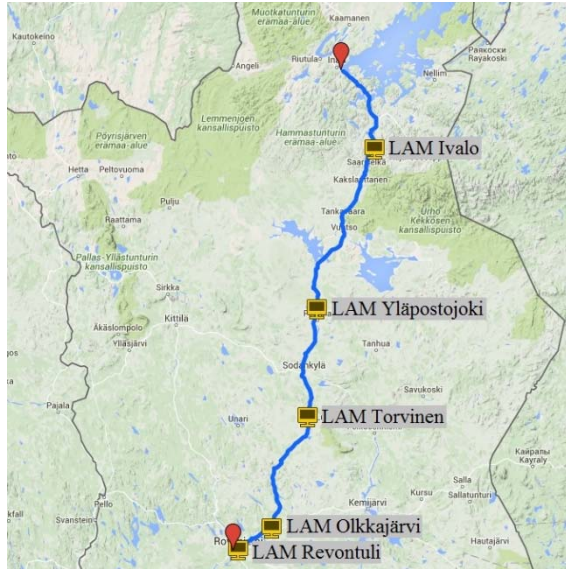


Kuva 5.1. Tutkimukseen valitut yritykset, reitit ja ajoneuvoyhdistelmät. Ylemmän rivin ajoneuvoyhdistelmät ovat HCT-yhdistelmiä ja alemman rivin yhdistelmät niiden normaalikokoisia verrokkiyhdistelmiä.

5.2 Tutkimuskohteet

5.2.1 Ketosen Kuljetus Oy

Ketosen Kuljetus Oy on kemijärveläinen yritys, joka kuljettaa pääasiassa Metsähallituksen, mutta myös Metsä Groupin ja Stora Enson raakapuuta Lapin alueella (Metsäteho 2015, Ketosenliikenne.fi 2016). Yritys sai maaliskuussa 2015 Liikenteen turvallisuusvirasto Trafilta poikkeusluvan 33 metriä pitkälle ja enintään 104 tonnia painavalle HCT-yhdistelmäajoneuvolle, jolla liikennöinti aloitettiin lokakuussa 2015. HCT-yhdistelmällä liikennöinti on sallittu reitillä Inari–Rovaniemi–Kemi. (Trafi 2016b.) Reitien pohjoispäässä niin sanotut metsäpään autot noutavat puuta metsästä ja syöttävät sitä kuudelle kuormanvaihtopaikalle, joissa puu siirretään HCT-ajoneuvoyhdistelmän kuljetettavaksi (Lapin Tuli Oy 2015). Pääasiassa puuta kuljetetaan Rovaniemellä sijaitsevaan puutavaraterminaaliin, josta puu kuljetetaan edelleen rautateitse Kemissä sijaitseviin tuotantolaitoksiin. Pohjoiseen yhdistelmällä ajetaan tyhjänä. Inarin ja Rovaniemen välinen reitti sekä reitillä sijaitsevat LAM-pisteet on esitetty kuvassa 5.2.



Kuva 5.2. Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmä kuljettaa raakapuuta pääasiassa Inarista Rovaniemelle valtatiellä 4. Kuvaan on merkitty myös reitillä sijaitsevat LAM-pisteet.

Ketosen Kuljetus Oy:n kuvassa 5.3 esitetty HCT-ajoneuvoyhdistelmä koostuu neljäakselisesta vetoautosta, neljäakselisesta puoliperävaunusta ja viisiakselisesta varsinaisesta perävaunusta. Vetoauto on 730 hevosvoimaisella moottorilla varustettu Scania ja perävaunut ovat suomalaisen Jykin ja ruotsalaisen MST:n valmistamia. Vetoauton ensimmäinen ja neljäs akseli ovat ohjaavia ja puoliperävaunun neljäs akseli on ohjautuva. Autossa on vetävä teli, eli sekä toisen että kolmannen akselin pyörät ovat vetäviä. Ajoneuvoyhdistelmän ohjaavat ja ohjautuvat akselit on varustettu yksikköpyörin, muilla akseleilla käytetään paripyöriä. Kuormattuna enintään 104 tonnia painava yhdistelmä on painavin Suomessa tällä hetkellä liikenteessä olevista HCT-ajoneuvoyhdistelmistä. (Metsähallitus 2015.)



Kuva 5.3. Ketosen Kuljetuksen HCT-ajoneuvo on 33 metriä pitkä ja sen suurin sallittu kokonaismassa on 104 tonnia. Yhdistelmä koostuu neljäakselisesta vetoautosta, neljäakselisesta puoliperävaunusta sekä viisiakselisesta varsinaisesta perävaunusta.

Vertailumateriaalia Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmälle kerätään yrityksen normaalikokoisella, kuvassa 5.4 näkyvällä puutavara-ajoneuvoyhdistelmällä. Ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu massa on 76 tonnia ja ajoneuvoyhdistelmän pituus vaihtelee pituudeltaan muuttuvan, niin sanotun jatkettavan perävaunun vuoksi noin 22 ja 25 metrin välillä. Verrokkiyhdistelmä koostuu Scania-merkkisestä, 620 hevosvoiman moottorilla varustetusta neljääksellisestä kuorma-autosta sekä viisiakselisesta varsinaisesta perävaunusta. Toisin kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmä, verrokkiyhdistelmä noutaa kuljettavat raakapuut useimmiten suoraan metsästä. Pääosa verrokin reitistä on kuitenkin HCT-yhdistelmän kanssa yhtenevää, sillä tutkimuksen aikana käytetyt puunnoutopaikat ovat sijainneet yleensä HCT-yhdistelmän käyttämän kuormanvaihtopaikan pohjoispuolella ja myös verrokki on kuljettanut puuta pääasiassa Rovaniemen puutavara-termiiniin.



Kuva 5.4. Vertailumateriaalia Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmälle kerätään sen kanssa pääosin samalla reitillä liikennöivällä, maksimissaan noin 25 metriä pitkällä ja 76 tonnia painavalla kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun ajoneuvoyhdistelmällä. Kuvassa perävaunu on lyhyessä muodossa, jolloin yhdistelmän pituus on noin 22 metriä.

Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän käyttämä reitti Ivalon ja Rovaniemen välillä valtatiellä neljä on pääasiassa yksiajorataista ja kaksikaistaista. Reitillä on noin kolmen ja puolen kilometrin mittainen 2+2-kaistainen osuus Rovaniemen keskustan pohjoispuolella ja lisäksi noin neljäkymmentä kilometriä Sodankylän eteläpuolella sijaitsee kahden kilometrin mittainen neljääkaistaisen ajoradan omaava Vuojärven varalaskupaikka. Lisäksi reitillä on taajamaosuuksia muun muassa Rovaniemellä ja Sodankylässä. Mikäli puuta noudetaan Ivalon taajaman pohjoispuolelta, ajetaan myös Ivalon taajama-alueen läpi. Ivalon ja Rovaniemen välisellä reitillä suurimmat liikennemäärät ovat Rovaniemen 2+2-kaistaisella tieosuudella, jossa keskimääräinen vuorokausiliikenne on suurimmillaan noin 21 000 ajoneuvoa. Pohjoiseen ajettaessa liikennemäärä laskee nopeasti ollen valtatie neljän ja Kemijärventien risteyksen kohdalla noin 3 300 ajoneuvoa. Edelleen pohjoiseen jatkettaessa liikennemäärä laskee noin 1 300 ajoneuvon vuorokaudessa, kunnes se Sodankylän taajamassa nousee noin 5 600 ajoneuvon vuorokaudessa. Tämän jälkeen liikennemäärä laskee alimmillaan noin tuhanteen ajoneuvon vuorokaudessa, kunnes Ivalon taajamassa liikennemäärä jälleen nousee noin 5 700 ajoneuvon vuorokaudessa. Kaikkiaan voidaan siis sanoa, että keskimääräiset liikennemäärät ovat reitin linjaosuuksilla melko pieniä. (Liikennevirasto 2015b.)

Ivalon ja Rovaniemen välisellä reitillä raskaiden ajoneuvojen osuus liikennemäärästä vaihtelee siten, että Revontulen LAM-pisteessä Rovaniemellä niiden osuus on pienimmillään eli 5,7 % arkivuorokausien liikennemäärästä ja 4,7 % koko vuoden liikennemäärästä, kun taas Yläpostojoen LAM-pisteessä Sodankylän ja Ivalon välillä raskaiden ajoneuvojen osuus on suurimmillaan ollen 16,0 % arkivuorokausien liikennemäärästä ja 13,2 % koko vuoden liikennemäärästä. Revontulen LAM-pistettä lukuun ottamatta

raskaan liikenteen osuus arkivuorokausien liikennemäärästä on kaikissa reitillä sijaitsevilla LAM-pisteissä yli kymmenen prosenttia. Reitillä sijaitsevat LAM-pisteet on merkitty kuvaan 5.2. (Liikennevirasto 2015a.)

Tavallista pidemmän ja painavamman ajoneuvoyhdistelmän liikennöitävyyden kannalta kriittisiä infrarakenteita ovat muun muassa liittymät ja kiertoliittymät sekä sillat. Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitillä välillä Ivalo-Rovaniemi sijaitsee viisi yksikaistaista kiertoliittymää: kaksi Sodankylässä ja kolme Ivalon taajamassa. Ennen liikennöinnin aloittamista pitkän yhdistelmän ajouria kyseisissä kiertoliittymissä sekä Rovaniemen liittymissä tutkittiin simuloinnein, joissa todettiin, että 33-metriä pitkällä ajoneuvoyhdistelmällä liikennöinti niissä on mahdollista (Metsähallitus 2013). Reitin ainoa poikkeusjärjestely on tehty Sodankylän taajaman eteläpäässä sijaitsevilla, noin 80 metrin pituisella Jeesiöjoen sillalla, jonka kumpaankin päähän on asennettu liikennevalot, sillä heikkokuntoiselle sillalle ei haluta päästää muita ajoneuvoja samaan aikaan kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän kanssa. Kun kuormattu HCT-ajoneuvoyhdistelmä lähestyy siltaa pohjoisesta, sen kuljettaja sytyttää vastakkaisen suunnan liikenteelle punaisen opastinkuvan. Kun HCT-yhdistelmä saapuu sillan pohjoispäähän, kuljettaja sytyttää myös takana ajaville ajoneuvoille punaisen opastinkuvan (Lapin Tuli Oy 2015). Kuten kuvasta 5.5 nähdään, HCT-yhdistelmä ylittää sillan sen keskellä ajaen, jolloin siltarakenteisiin kohdistuva kuormitus jakautuu mahdollisimman tasaisesti. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ylitettyä sillan opastimet siirtyvät lepotilaan.



Kuva 5.5. Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvo ylittämässä kauko-ohjaimella hallittavilla liikennevaloilla varustettua Jeesiöjoen siltaa Sodankylässä. Opastinkuva on punainen sekä vastaantulijoille että HCT-yhdistelmän perässä ajaville ajoneuvoille, sillä heikkokuntoiselle sillalle ei päästetä muita ajoneuvoja samaan aikaan tavallista painavamman ajoneuvoyhdistelmän kanssa.

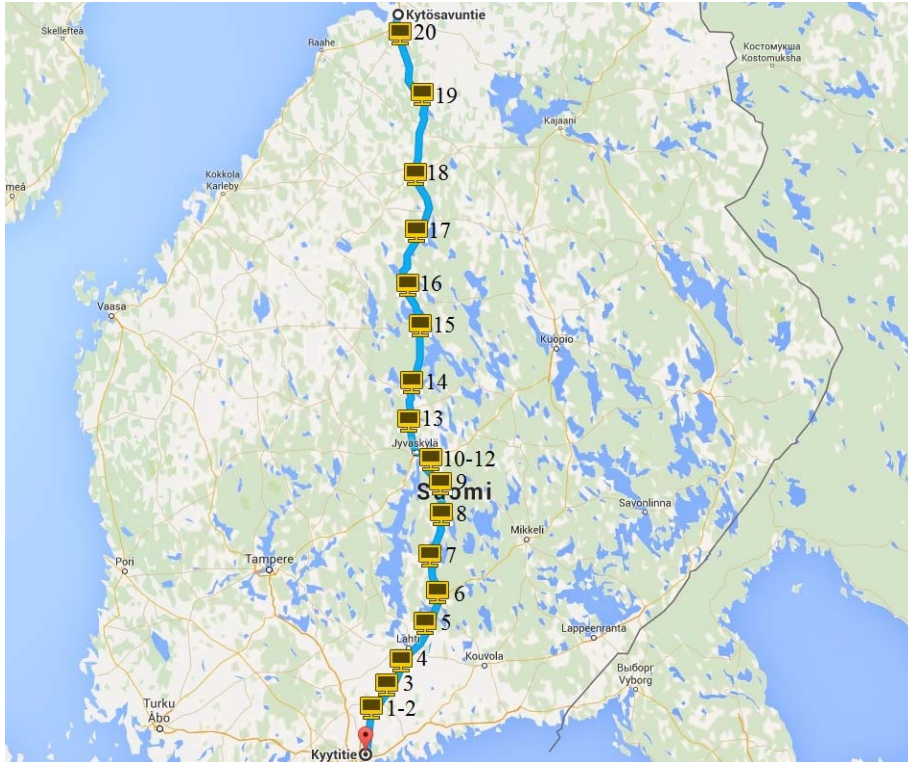
Ketosen Kuljetuksen HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitin pohjoispää on tunturialueella, jossa erityisesti raskaiden ajoneuvojen nopeusvaihtelut ovat merkittäviä tien mäkisyyden vuoksi. Reitin vaativin nousu on Saariselän pohjoispuolella sijaitseva Magneettimäki, joka nousee ylös kuormattuna. Tie nousee yhtäjaksoisesti noin 3,6 kilometrin matkalla noin 160 metriä keskimääräisen pituuskaltevuuden ollessa noin viisi prosenttia (Lapin Tuli Oy 2015). Lupahakemusvaiheessa tavallista painavamman ajoneuvoyhdistelmän mäennousukykyä tutkittiin simuloimalla ajoneuvoyhdistelmän nopeutta Magneettimäessä. Simulointien mukaan 104-tonnisen ja 730 hevosvoiman moottorilla varustetun ajoneuvoyhdistelmän nopeus laskee tien jyrkimmässä kohdassa noin 20–30 kilometrin tuntinopeuteen. Simulointien mukaan raskaamman ajoneuvoyhdistelmän nopeus Magneettimäessä ei merkittävästi poikennut kokonaismassaltaan kevyempien ja moottoriteholtaan heikompien normaalikokoisten puutavara-autojen nopeuksista. Lisäksi HCT-ajoneuvoyhdistelmän käyttämistä kuormanvaihtopaikoista

eteläisin on sijoitettu Magneettimäen eteläpuolelle, jolloin sitä käytettäessä reitillä ei ole merkittäviä mäkiä. (Metsähallitus 2015).

Koska Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän liikennöimä reitti on verrattain pitkä ja tien korkeus merenpinnasta vaihtelee melko runsaasti, voivat keliolosuhteet reitillä vaihdella merkittävästi. Ominaista reitille on lisäksi pohjoisen sijainnin myötä talvien pitkä kesto: terminen talvi, eli aika, jona vuorokauden keskilämpötila pysyy pääsääntöisesti nollan alapuolella, kestää alueella keskimäärin 170–190 vuorokautta (Ilmatieteenlaitos.fi 2016). HCT-ajoneuvoyhdistelmä onkin varustettu liukkaiden talvikelien varalta hiekoittimella ja On Spot -ketjunheittolaitteella. Lisäksi ajoneuvoyhdistelmän vetävillä akseleilla ja ensimmäisellä ohjaavalla akselilla käytetään talviaikana nastallisia renkaita. Ilmatieteenlaitoksen erittäin liukkaaksi määrittelemällä kelillä ajoneuvoyhdistelmällä ei liikennöidä. (Hievanen 2015, Metsähallitus 2015.) Oman erityispiirteensä Lapissa liikennöimiselle tuo myös alueella harjoitettava poronhoito, sillä tiealueilla ja niiden läheisyydessä liikkuvien eläinten havaitseminen vaatii kuljettajilta erityistä tarkkaavaisuutta. Vuosittain Suomessa tapahtuu noin 3500–4000 porokolaria, joista suurin osa talvikuukausien aikana (Kinnunen & Simonen 2011).

5.2.2 Mikko Niskala Oy

Mikko Niskala Oy on haukiputaalainen kuljetusyritys, jonka toimialaan kuuluvat kansainväliset maantiekuljetukset sekä sopimuskuljetukset kotimaassa. Valtaosa yrityksen kotimaan kuljetuksista koostuu Keskon logistiikkayhtiö Keslogin päivittäistavara-kaupan kuljetuksista. Yhteistyössä kuorma-autovalmistaja Volvon ja perävaunuja ja päällirakenteita valmistavan VAK Oy:n kanssa Mikko Niskala Oy ja Keslog selvittivät mahdollisuuksia päivittäistavarakuljetusten tehostamiseen tavallista suuremman ajoneuvoyhdistelmän avulla. Keväällä 2015 Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi myönsikin Mikko Niskala Oy:lle poikkeusluvan 34,5 metriä pitkällä ja enintään 90 tonnia painavalla ajoneuvoyhdistelmällä liikennöintiin Keslogin Vantaan päävarastojen ja Oulun jakelualueen Kempeleen terminaalin välillä kuvan 5.6 mukaisella reitillä. Liikennöinti HCT-yhdistelmällä aloitettiin maaliskuussa 2015. (OP Oulun yrityslehti 2015, Ksml.fi 2015, Kauppalehti.fi 2015.)



Kuva 5.6. Mikko Niskala Oy:n HCT-yhdistelmällä kuljetetaan Keslogin päivittäistavaroita Vantaan ja Kempeleen välillä Valtatiellä 4. Kuvaan on merkitty myös reitillä sijaitsevien LAM-pisteiden sijainnit. (Kuva muokattu Googlen reittiohjeista HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitille.)

Mikko Niskala Oy:n kuvassa 5.7 näkyvä HCT-yhdistelmä koostuu 750-hevosvoimaisesta, kolmeakselisesta vetoautosta, kolmeakselisesta puoliperävaunusta sekä siihen liitetystä viisiakselisesta varsinaisesta perävaunusta. Vetoauton on valmistanut Volvo ja perävaunut ovat suomalaisen VAK Oy:n valmistamia. Yhdistelmän kokonaispituus on 34,5 metriä ja sen suurin sallittu massa on 90 tonnia. Ajoneuvoyhdistelmän perävaunuihin voidaan lastata rullakkoita kahteen kerrokseen, ja kokonaisuudessaan yhdistelmällä voidaan kuljettaa 189 rullakkoa kerralla. Tämä on yli kaksinkertainen määrä verrattuna normaalikokoiseen, 25,25 metriä pitkään ajoneuvoyhdistelmään, johon mahtuu 90 rullakkoa yhteen kerrokseen lastattuna. Ajoneuvoyhdistelmällä ajetaan yksi noin 1 200 kilometrin pituinen edestakainen matka vuorokaudessa: Vantaalta Kempeleeseen täysiä rullakkoita ja paluusuuntaan tyhjiä. (OP Oulun yrityslehti 2015, Ksm.fi 2015, Kauppalehti.fi 2015.)



Kuva 5.7. Mikko Niskala Oy:n liikennöimä HCT-ajoneuvoyhdistelmä koostuu kolmeakselisesta vetoautosta, kolmeakselisesta puoliperävaunusta sekä viisiakselisesta varsinaisesta perävaunusta. Yhdistelmä on 34,5 metriä pitkä ja sen suurin sallittu kokonaismassa on 90 tonnia.

Vertailumateriaalia Mikko Niskala Oy:n HCT-yhdistelmälle kerätään yrityksen normaalikokoisella, kuvassa 5.8 näkyvällä ajoneuvoyhdistelmällä. Verrokkiyhdistelmän pituus on 25,25 metriä ja suurin sallittu kokonaismassa 64 tonnia. Myös verrokkiyhdistelmällä kuljetetaan Keskon päivittäistavaroita Vantaalta Oulun alueelle. Reitti on HCT-yhdistelmän reitin kanssa pääosin yhtenevä, mutta koska verrokkiyhdistelmä suorittaa ke-räilyä ja jakelua myös muiden kohteiden kuin Vantaan ja Kempeleen varastojen välillä, on reiteissä jonkin verran eroa. Lisäksi eroa on liikennöintitiheydessä: verrokkiyhdistelmällä ajetaan joka toinen päivä Vantaalle ja joka toinen päivä Ouluun, kun taas HCT-yhdistelmällä tehdään yksi edestakainen matka päivittäin.



Kuva 5.8. Mikko Niskala Oy:n HCT-yhdistelmän verrokkiyhdistelmänä toimii yrityksen 25,25 metriä pitkä ja enintään 64 tonnia painava kolmeakselisen kuorma-auton ja viisiakselisen varsinaisen perävaunun yhdistelmä.

Mikko Niskala Oy:n ajoneuvoyhdistelmät kulkevat Vantaan ja Kempeleen välillä valtaatiellä neljä, jolla on sekä kaksikaistaisia maantiesuosuuksia, lyhyitä ohituskaistallisia osuuksia että nelikaistaisia moottoritieosuosuuksia. Vantaan ja Heinolan välisellä, noin 130 kilometrin mittaisella tieosuudella tie on 2+2-kaistaista moottoritietä. Lisäksi Jyväskylän kohdalla on noin kymmenen kilometrin mittainen 2+2-kaistainen tieosuus. Pääosa Heinolan ja Kempeleen välisestä reitistä on kaksikaistaista, mutta välillä on myös useita 2+1- ja 2+2-kaistaisia ohituskaistallisia osuuksia. Liikennemäärät ovat suurimmillaan reitin eteläpäässä, sillä Kehä III:n kohdalla valtatie neljän keskimääräinen liikennemäärä on yli 52 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Pohjoiseen ajettaessa liikennemäärät laskevat hiljalleen ollen esimerkiksi Mäntsälän kohdalla noin 24 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Moottoritieosuuden pohjoispäässä Heinolan kohdalla liikennemäärä on noin 16 000 ajoneuvoa vuorokaudessa, ja tien muututtua kaksikaistaiseksi liikennemäärä laskee noin 7 000 ajoneuvon vuorokaudessa. Liikennemäärä laskee hiljalleen, kunnes Jyväskylän 2+2-kaistaisella tieosuudella nousee jälleen noin 30 000 ajoneuvon vuorokaudessa. Jyväskylän ja Kempeleen välillä tien keskimääräinen liikennemäärä vuorokaudessa vaihtelee noin 3 000 ja 7 000 ajoneuvon välillä ollen suurimmillaan Viitasaaren ja Äänekosken kohdilla. (Liikennevirasto 2015b.)

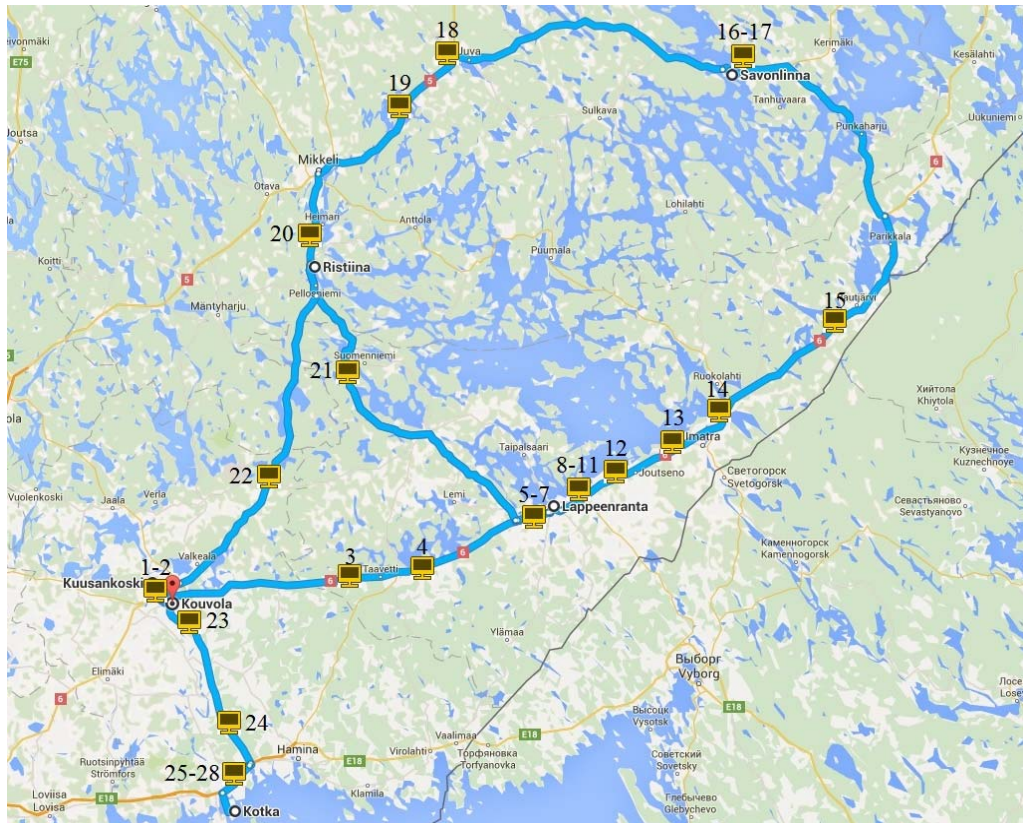
Raskaiden ajoneuvojen suhteellinen osuus edellä esitetyistä liikennemääristä on verrattain suuri: keskimääräisestä arkivuorokausien liikennemäärästä raskaat ajoneuvot muodostavat yli 10 prosenttia lähes kaikkien reitillä sijaitsevien LAM-pisteiden kohdalla, jotka on merkitty kuvaan 5.6. Koko vuoden liikennemäärästä raskaiden ajoneuvojen osuus on yli kymmenen prosenttia yhteensä kolmellatoista LAM-pisteellä. Pienimmillään raskaiden ajoneuvojen osuus on kuvan 5.6 LAM-pisteellä numero 12 eli Palokan LAM-pisteellä (7,6 % arkipäivien liikennemäärästä ja 6,3 % koko vuoden liikennemäärästä) ja suurimmillaan LAM-pisteellä numero 16 eli Viitasaaren LAM-pisteellä

(22,7 % arkipäivien liikennemäärästä ja 16,8 % koko vuoden liikennemäärästä). Viitasaaren LAM-pisteen lisäksi reitillä on neljä muuta LAM-pistettä (kuvan 5.6 LAM-pisteet 8, 9, 17 ja 19 eli Joutsa, Toivakka, Pyhäjärvi ja Ala-Temmes), joidenka kohdalla raskaat ajoneuvot muodostavat vähintään 20 % arkivuorokausien liikennemäärästä. (Liikennevirasto 2015a.)

Mikko Niskala Oy:n ajoneuvoyhdistelmien reitillä on useita, pääasiassa suoraan läpiajettavia tavallisia liittymiä ja lisäksi kiertoliittymiä. Reitin pohjoisin kiertoliittymä on tiet E8 ja E75 yhdistävä kaksikaistainen kiertoliittymä Limingassa. Etelään ajattaessa seuraavat kolme kiertoliittymää sijaitsevat Kärsämäen taajamassa. Kyseiset kiertoliittymät ovat yksikaistaisia. Seuraava kiertoliittymä sijaitsee Vaajakoskella ja se on tyypiltään osittain kaksikaistainen turbokiertoliittymä. Reitin eteläisin kiertoliittymä sijaitsee noin 2,5 kilometriä Vaajakosken kiertoliittymän eteläpuolella. Kanavuoren kiertoliittymäksi kutsuttu kiertoliittymä on osittain kaksikaistainen. Reitillä ei ole jouduttu tekemään erikoisjärjestelyitä tavallisia ajoneuvoyhdistelmiä pidemmän ja painavamman HCT-yhdistelmän vuoksi. Lähes samalla reitillä Mikko Niskala Oy:n HCT-yhdistelmän kanssa liikennöi toinenkin HCT-ajoneuvoyhdistelmä, Oulun autokuljetuksen 32 metriä pitkä ja enintään 88 tonnia painava Green Doubleksi nimetty yhdistelmä. Osittain samalla reitillä liikennöi myös Kuljetusliike Ilmari Lehtonen Oy:n 32 metriä pitkä HCT-ajoneuvoyhdistelmä, jolla ajetaan Jyväskylän ja Rovaniemen välillä. (Hs.fi 2015, Ksml.fi 2015, Trafi.fi 2016b.)

5.2.3 Orpe Kuljetus Oy ja Kuljetus Szepaniak Oy

Orpe Kuljetus Oy on valkealainen kuljetusyritys, joka on erikoistunut metsäteollisuuden kuljetuksiin. Lisäksi yrityksen toimialaan kuuluvat erikoiskuljetukset sekä maanrakennuspalvelut. Pääasiassa Orpe Kuljetus Oy kuljettaa tukkipuuta Etelä-Suomen sahoilte ja vaneritehtaille sekä kuitupuuta sellutehtaille. Yritys sai syksyllä 2014 Liikenteen turvallisuusvirasto Trafilta poikkeusluvan noin 31 metriä pitkälle ja enintään 94 tonnia painavalle HCT-ajoneuvoyhdistelmälle, jolla liikennöidään Saimaan ympäristössä sijaitsevien metsäteollisuuden suuryritys UPM:n tuotantolaitosten ja terminaalien välillä kuvan 5.9 mukaisella reitistöllä pääasiassa valtateillä 5, 6, 7, 13, 14, ja 15. Tuotantolaitokset sijaitsevat Kouvolassa, Lappeenrannassa, Savonlinnassa ja Ristiinassa, ja puutavaran tuontiterminaali sijaitsee Kotkassa. Suomen ensimmäisellä raakapuun kuljetukseen valmistetulla HCT-ajoneuvoyhdistelmällä liikennöinti aloitettiin marraskuussa 2014. (Orpekuljetus.fi 2015, Kuljetusyritystä 2015.)



Kuva 5.9. Orpe Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmällä kuljetetaan puutavaraa UPM:n tuotantolaitosten ja terminaalien välillä Kaakkois- ja Itä-Suomessa. Tuotantolaitokset sijaitsevat Kouvola, Lappeenranta, Savonlinna ja Ristiina ja puutavaran tuontiterminali sijaitsee Kotkassa. Kuvaan on lisätty reitistöllä sijaitsevien LAM-pisteiden sijainnit. (Kuva muokattu Googlen reittihojasta edellä mainittujen paikkakuntien välillä.)

Orpe Kuljetus Oy:n kuvassa 5.10 näkyvä HCT-ajoneuvoyhdistelmä koostuu kolmeakselisesta vetoautosta, neljääksisesta puoliperävaunusta sekä viisiakselisesta varsinaisesta perävaunusta. Yhdistelmän kokonaispituus on noin 31 metriä ja suurin sallittu massa 94 tonnia. Puoliperävaunun viimeinen akseli on ohjautuva, mikä parantaa ajoneuvoyhdistelmän kääntyvyysominaisuuksia. Vetoautona yhdistelmässä on 750 hevosvoiman moottorilla varustettu Volvo ja perävaunut on valmistanut Jyky. HCT-yhdistelmä liikennöi Saimaan ympäristössä sijaitsevien UPM:n tuotantolaitosten välillä siten, että tuotantolaitokset toimivat puutavaran välivarastoina. Metsästä voidaan kuljettaa tavallisilla ajoneuvoyhdistelmillä esimerkiksi kuitupuuta välivarastoon lähelle vaneritehtaalle tai sahalle, josta puu kuljetetaan edelleen lopulliseen käyttökohteeseensa sellutehtaalle HCT-yhdistelmällä. Vastaavasti sellutehtaan välivarastosta voidaan paluukuormana kuljettaa tukkipuuta vaneritehtaan tai sahan käyttöön. Näin voidaan sekä tehostaa puutavaran keräilykuljetuksia metsästä että vähentää päätieli- verkolla liikkuvien raskaiden yhdistelmien määrää. (UPM.com 2014.)



Kuva 5.10. Orpe Kuljetus Oy:n noin 31 metriä pitkä ja maksimimassaltaan 94-tonninen ajoneuvoyhdistelmä koostuu kolmeakselisesta vetoautosta, neljäksellisestä puoliperävaunusta ja viisiakselisesta varsinaisesta perävaunusta. (Orpekuljetus.fi 2014.)

Vertailumateriaalia Orpe Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmälle kerätään Kuljetus Szepaniak Oy:n ajoneuvoyhdistelmällä, jolla kuljetetaan pääasiassa puuhaketta Itä- ja Kaakkois-Suomessa. Orpe Kuljetus Oy:llä on HCT-yhdistelmän lisäksi useita normaallikokoisia ajoneuvoyhdistelmiä, mutta ne poikkeavat reiteiltään ja toimintatavaltaan niin paljon HCT-ajoneuvoyhdistelmästä, ettei niitä voitu käyttää tutkimuksessa verrokiyhdistelminä. Sekä UPM:n että muiden toimijoiden hakkeita kuljettava Kuljetus Szepaniak Oy:n ajoneuvoyhdistelmä liikennöi sen sijaan osittain samalla reitistöllä Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän kanssa ja oli siten sopiva ajoneuvo vertailumateriaalin keräämiseen. Kuvassa 5.11 näkyvä Kuljetus Szepaniak Oy:n hakeyhdistelmä koostuu kolmeakselisesta puoliperävaunun vetoautosta, kolmeakselisesta puoliperävaunusta sekä kaksiakselisesta keskiakseliperävaunusta. Se poikkeaa siis konfiguraatioltaan muista tutkimuksessa käytetyistä vertailuyhdistelmistä. Ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa on 68 tonnia ja yhdistelmän pituus on 25,25 metriä.



Kuva 5.11. Orpe Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän vertailuyhdistelmänä tutkimuksessa toimii Kuljetus Szepaniak Oy:n haketta kuljettava yhdistelmäajoneuvo, joka koostuu kolmeakselisesta vetoautosta, kolmeakselisesta puoliperävaunusta ja kaksiakselisesta keskiakseliperävaunusta. Yhdistelmän pituus on 25,25 metriä ja maksimimassa 68 tonnia.

Orpe Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän käyttämä reitistö on pääosin kaksikaistaista ja yksiajorataista tietä. Valtatiellä 6 on yhtenäinen noin 55 kilometrin mittainen 2+2-kaistainen tieosuus, minkä lisäksi reitillä on lyhyempiä 2+2-kaistallisia osuuksia sekä ohituskaistaosuuksia. Valtatiellä 6 on lisäksi Kouvolan ja Taavetin välillä leveäkaistaisia tieosuuksia. Reitistön suurimmat liikennemäärät ovat Mikkelin, Lappeenrannan ja Savonlinnan kohdilla, joissa liikennemäärät ovat noin 20 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät reitistön linjaosuuksilla ovat kuitenkin selvästi alhaisempia vaihdellen noin tuhannen ja hieman alle kymmenen tuhannen ajoneuvon välillä. Liikennemääriltään vilkkaimpia tieosuuksia Orpe Kuljetuksen HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitistöllä ovat Kouvolan ja Lappeenrannan, Lappeenrannan ja Savonlinnan sekä Savonlinnan ja Mikkelin väliset tieosuudet, joilla liikennemäärät vaihtelevat pääosin välillä 5 000–10 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Vähäisintä liikenne on puolestaan Ristiinan ja Lappeenrannan sekä Ristiinan ja Kouvolan välisillä tieosuuksilla, joilla liikennemäärät vaihtelevat pääosin välillä 1 500–3 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Liikennemäärät ovat siis verrattain suuria reitistön suurimpien kaupunkien läheisyydessä, mutta reitistöllä on myös melko vähäisen liikennemäärän omaavia linjaosuuksia. (Liikennevirasto 2015b.)

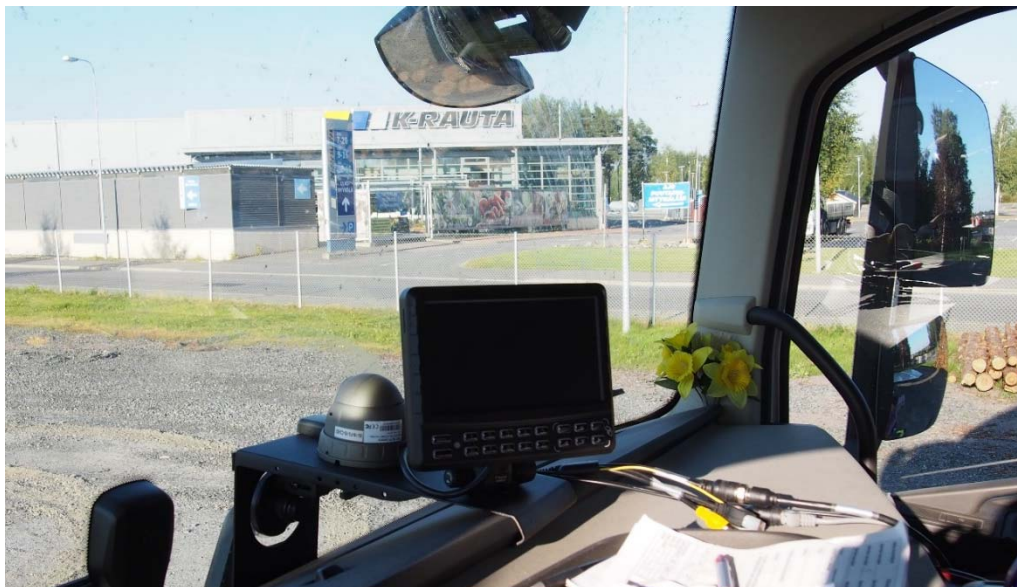
Orpe Kuljetuksen HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitistöllä sijaitsevat liikenteen automaattiset mittauspisteet on merkitty kuvaan 5.9. Raskaiden ajoneuvojen osuus reitistön liikennemäärästä vaihtelee melko paljon sijainnista riippuen. Valtatiellä 6 Kouvolan ja Lappeenrannan välillä raskaiden ajoneuvojen osuus on kaikilla välillä sijaitsevilla LAM-pisteissä yli 15 % arkivuorokausien liikennemäärästä ja yli 10 % koko vuoden liikennemäärästä. Suurimmillaan raskaiden ajoneuvojen osuus on kuvan 5.9 pisteellä numero kolme eli Somerharjun LAM-pisteellä, jossa raskaita ajoneuvoja on 22,9 % arkivuorokausien liikennemäärästä ja 17,4 % koko vuoden liikennemäärästä. Lappeenrannasta itään jatkettaessa raskaan liikenteen osuus on keskimäärin hieman alle 15 % arkivuorokausien liikennemäärästä ja hieman yli 10 % koko vuoden liikennemäärästä. Valtatiellä 14 Särkisalmen ja Juvan välillä LAM-pisteitä on vain kolme kappaletta (kuvan 5.9 pisteet 16–18). Niiden kohdalla raskaan liikenteen osuus arkivuorokausien liikennemäärästä vaihtelee välillä 4,5–8,7 %. Valtatiellä 5 raskaiden ajoneuvojen osuus liikennemäärästä on Nuutilanmäen LAM-pisteellä eli pisteellä numero 19 15,0 % arkivuorokausien liikenteestä ja 10,8 % koko vuoden liikenteestä. Mikkelistä etelään ajettaessa raskaan liikenteen osuus arkivuorokausien liikennemäärästä vaihtelee 12,1 ja 25,0 prosentin välillä valtateiden 13 ja 15 mittauspisteillä (kuvan 5.9 pisteet 20–22). Kouvolasta Kotkan satamaan johtavalla reitillä raskaan liikenteen osuus arkivuorokausien liikennemäärästä vaihtelee 11,8 ja 18,8 prosentin välillä. Voidaankin sanoa, että Orpe Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitillä raskaan liikenteen osuus liikennemäärästä nousee paikoin hyvin korkeaksi, mutta vaihtelu mittauspisteiden välillä on melko suurta. (Liikennevirasto 2015a.)

Orpe Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitillä on kuusi kiertoliittymää, jotka kaikki sijaitsevat valtatiellä 14. Sekä Savonlinnan keskustan itä- että länsipuolella on kiertoliittymät, joista idänpuoleinen on pääosin kaksikaistainen ja lännenpuoleinen on yksikaistainen. Lisäksi Punkaharjun taajamassa sijaitsee yksi yksikaistainen kiertoliittymä. Loput kolme kiertoliittymää sijaitsevat Juvan taajaman ja valtatie 5:n välisellä tieosuudella noin 3,5 kilometrin matkalla. Kyseiset kiertoliittymät ovat kaikki yksikaistaisia. Edellä mainittujen kiinteiden kiertoliittymien lisäksi Savonlinnan itäpuolella oli tutkimusmateriaalin keräämisen aikana tietyönaikaiseen kiertotiehen liittyvä väliaikainen, yksikaistainen kiertoliittymä. Kiertoliittymien lisäksi HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitistöllä on useita siltoja, mutta tavallista pidempi ja painavampi HCT-yhdistelmä voi liikennöidä niillä ilman erityisjärjestelyitä.

5.3 Tutkimuslaitteisto

Kuhunkin tutkimuksessa käytetyistä ajoneuvoyhdistelmistä asennettiin identtinen tutkimuslaitteisto, joka koostui kolmesta videokamerasta, GPS-paikantimesta, näytöstä, videomateriaalin ja paikkatiedot tallentavasta keskussyksiköstä sekä edellä mainitut komponentit yhdistävästä kaapeloinnista. Kamerrat sijoitettiin niin, että niiden tuottaman videomateriaalin avulla voidaan havainnoida ajoneuvoyhdistelmien ympärillä tapahtuvia asioita, kuten ohitustapahtumia ja jononmuodostusta. Lisäksi videokameroiden tarkoituksena oli mahdollistaa havaintojen tekeminen myös ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymisestä erilaisissa liikennetilanteissa ja erilaisilla tieosuuksilla, kuten esimerkiksi liittymissä, kiertoliittymissä, liikkeellelähdoissä ja mäissä.

Eteenpäin kuvaava kamera (etukamera) sijoitettiin ajoneuvoyhdistelmien hyttiin mahdollisimman lähelle tuulilasias heijastusten välttämiseksi. Kamera kiinnitettiin kunkin ajoneuvon kojelaudan mittojen mukaan valmistettuun telineeseen, joka puolestaan kiinnittyi takaosastaan kojelaudan reunaan ja etuosastaan tuulilasiin imukupin avulla. Samaan telineeseen etukameran kanssa kiinnitettiin GPS-paikannin sekä näyttö, joka toisti kameroiden tuottamaa kuvaa reaaliaikaisesti. Näytön avulla kuljettajat pystyivät tarkkailemaan laitteiston toimintaa. Kuvassa 5.12 on esitetty etukameran ja näytön sijainti yhdessä ajoneuvoyhdistelmistä. Kuvassa 5.13 on puolestaan esimerkki etukameran tuottamasta kuvamateriaalista.



Kuva 5.12. Etukamera, näyttö ja GPS-paikannin sijoitettiin kojelautaan ja tuulilasiin kiinnittyvään telineeseen.



Kuva 5.13. Esimerkki etukameran tuottamasta kuvamateriaalista.

Ajoneuvoyhdistelmien kulkusuunnassa vasemmanpuoleista sivua taaksepäin kuvaava kamera (sivukamera) asennettiin ajoneuvoyhdistelmien ohjaamon ulkopuolelle ja kiinnitettiin Volvoissa kuljettajan oven yläreunaan, Scanian puutavara-ajoneuvoissa ohjaamon ja kuormatilan väliseen alumiiniseen suojaseinään ja Mercedes Benzin valmistamassa hakeyhdistelmässä ohjaamon sivulla sijainneen tuulenohjaimen tukirakenteisiin. Kuhunkin ajoneuvoon sopiva sivukamerateline valmistettiin mittojen mukaan ruostumattomasta teräksestä ja kiinnitettiin ajoneuvoon valmiita ruuvireikiä ja muita mahdollisia kiinnityspisteitä hyödyntäen. Kuvassa 5.14 on esitetty sivukameran sijainti yhdessä tutkimuksen ajoneuvoista. Kuvassa 5.15 on puolestaan esimerkki sivukameran tuottamasta kuvamateriaalista.



Kuva 5.14. Esimerkki sivukameran kiinnityksestä kuljettajan ovensa sijainneisiin valmiisiin ruuvireikiin.



Kuva 5.15. Esimerkki sivukameran tuottamasta kuvamateriaalista.

Ajoneuvoyhdistelmien taakse kuvaava kamera (takakamera) asennettiin ajoneuvoyhdistelmien taaimmaisten perävaunujen takaosaan. Puutavara-ajoneuvoissa takakameran kiinnityksessä hyödynnettiin perävaunujen takavalopaneeleissa sijainneita kiinnityspisteitä. Muissa ajoneuvoyhdistelmissä takakamera kiinnitettiin kuormatilaan valmiita ruuvindreikiä ja muita olemassa olevia kiinnityspisteitä hyödyntäen. Myös takakameroille valmistettiin ruostumattomasta teräksestä suojarakenteet. Mikko Niskala Oy:n HCT-yhdistelmässä takakamera kiinnitettiin kuormatilan yläosaan noin neljän metrin korkeuteen, muissa yhdistelmäajoneuvoissa takakamera kiinnitettiin noin 0,5–1 metrin korkeuteen. Korkealle sijoitettu takakamera havaittiin ongelmalliseksi linssin puhtaana pysymisen ja likaantuneen linssin puhdistamisen kannalta, mutta toisaalta korkealla sijainnut kamera antoi paremmat edellytykset jononmuodostuksen seuraamiselle kuin alemmas sijoitetut kamerat. Kuvassa 5.16 on esimerkki takakameran kiinnityksestä ja kuvassa 5.17 on esimerkki takakameran tuottamasta kuvamateriaalista.



Kuva 5.16. Takakameroita kiinnitettiin esimerkiksi perävaunujen takavalaisinpaneeliin. Kuvassa näkyy myös pitkä kuljetus -kyltti, jonka avulla muut tiellä liikkujat tunnistavat tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän.



Kuva 5.17. Esimerkki takakameran tuottamasta kuvamateriaalista.

Kaikkien videokameroiden tuottama videomateriaali sekä GPS-paikantimen tuottama paikkatieto tallennettiin tallenninyksikköön, joka sijoitettiin kuorma-auton työkaluluukkuun. Tallenninyksikkö on esitetty kuvassa 5.18. Tallenninyksiköt sisälsivät vaihdettavat, yhden teratavun suuruiset kovalevyt, joille tutkimusmateriaalia kerättiin. Yhdelle kovalevyille mahtui tutkimusmateriaalia noin kahden–neljän viikon ajalta, jonka jälkeen kovalevy tuli vaihtaa uuteen. Täydet kovalevyt noudettiin tai toimitettiin postitse tutkimuslaboratorioon, jossa aineistoa voitiin analysoida tietokoneelle asennetulla ohjelmistolla. Aineiston analysoinnista on kerrottu tarkemmin luvussa 5.4.



Kuva 5.18. Videokameroiden kuvan ja GPS-paikantimen paikkatiedot tallentava tallenninyksikkö sijoitettiin ohjaamon työkaluluukkuun.

Kokonaisuudessaan tutkimuslaitteisto pyrittiin suunnittelemaan niin, että sen toiminta aiheuttaisi mahdollisimman vähän lisätyötä ja häiriötä ajoneuvojen kuljettajille. Laitteiston toiminta ja videotallennus käynnistyi automaattisesti, kun ajoneuvon virta kytkettiin päälle. Kuljettajat pystyivät tarkkailemaan ohjaamossa sijainneelta näytöltä laitteiston toimintaa ja mahdollisista ongelmista tai vioista tuli ilmoittaa tutkimuksen suorittajille. Erityisesti takakamera likaantui helposti, joten kuljettajien tuli mahdollisuuksiensa mukaan puhdistaa kameroiden linssejä esimerkiksi kuorman purkamisen ja lastauksen yhteydessä. Lisäksi kuljettajien tuli perävaunuja irrottaessaan muistaa irrottaa takakameran liitin ja vastaavasti kytkeä se kiinni perävaunua kiinnitettäessä. Kaikki tutkimuslaitteiston osat pyrittiin suunnittelemaan ja asentamaan ajoneuvoihin niin, että ne voidaan poistaa jälkiä jättämättä tutkimuksen päätyttyä.

Kamerat, tallenninyksikkö ja GPS-paikannin havaittiin tutkimuksessa toiminnallisuutensa kannalta suhteellisen luotettaviksi. Suurimmat ongelmat laitteistojen toiminnassa liittyivät takakameroiden kuvan tallennusyksikölle siirtävään kaapelointiin. Alun perin liittiminä ajoneuvoyhdistelmien perävaunujen välissä sekä vetoautojen ja perävaunun välissä käytettiin Amphenol-merkkisiä, metallirunkoisia kierrelukittavia liittimiä (kuva 5.19). Liittimien käytössä havaittiin kuitenkin ongelmia, jotka liittyivät riittämättömään vedonpoistoon, huonoon kosteudeneristykseen sekä käytön hankaluuteen ajoneuvoyhdistelmissä tavallisesti käytettyihin liittimiin verrattuna. Takakameroiden signaalin katkettua Amphenol-liittimiä jouduttiin vaihtamaan uusiin useita kertoja, minkä johdosta liittintyyppiä päätettiin vaihtaa ajoneuvoyhdistelmien sähköjärjestelmissä yleisesti käytettyihin 15-napaisiin liittimiin (kuva 5.20). Tämä liittintyyppi havaittiin tarkoitukseen sopivammaksi, mutta ongelmia takakameroiden kuvansiirrosta esiintyi myös uuden liittintyyppin kanssa. Koska uudet liittimet olivat vastaavia kuin ajoneuvoyhdistelmissä muutoinkin käytetyt liittimet, värjättiin kamerakaapelin liittimiä keltaisella värillä sekaannusten estämiseksi. Lisäksi kamerakaapelissa käytetyn uros- ja naarasliittimen sisäosat vaihdettiin keskenään niin, ettei kamerakaapelin liittimiä voinut kytkeä ajoneuvojen muiden liittimien kanssa ristiin.



Kuva 5.19. Takakameran kaapelin yhdistämiseen perävaunun ja vetoauton välillä käytettiin alun perin Amphenol-liittimiä (kuvassa keskellä).

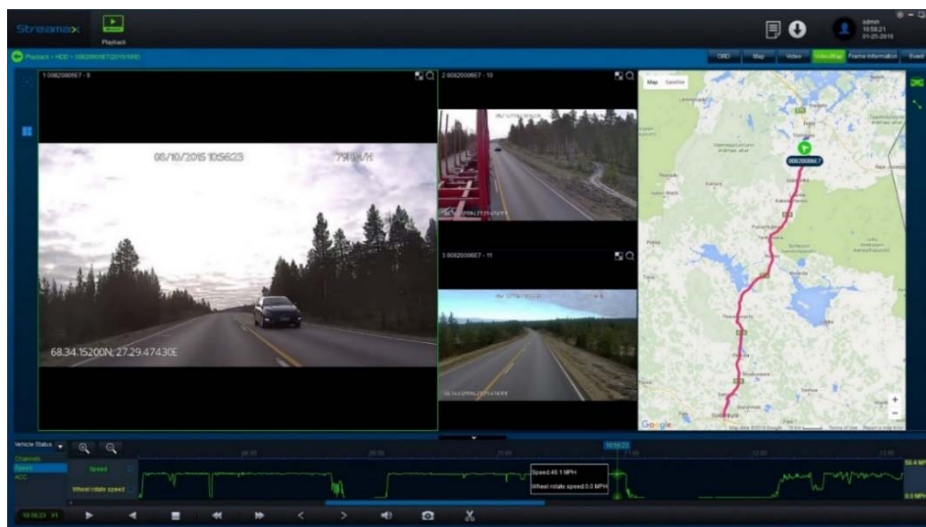


Kuva 5.20. Amphenol-liittimet vaihdettiin tutkimuksen edetessä muovisiin, 15-napaisiin liittimiin, joita ajoneuvoyhdistelmissä yleisesti käytetään.

Kaikkiaan tutkimusmateriaalin keräys ei sujunut alkuperäisten suunnitelmien ja aikataulujen mukaan teknisten ongelmien vuoksi. Liittimien vaihtaminen ja laitteistojen muu ylläpito vaativat huomattavasti enemmän resursseja kuin tutkimuksen alkaessa arvioitiin. Langaton tiedonsiirto kameroiden ja tallenninyksikön välillä olisi saattanut vaatia vähemmän resursseja laitteistojen ylläpitämiseksi, mutta toisaalta myös langattoman järjestelmän luotettavuuden varmistamiseksi olisi vaadittu pitkäaikaista testausta eri olosuhteissa sekä erilaisten toteutustapojen vertailua.

5.4 Tutkimusmateriaalin analysointi

Tutkimusmateriaalin analysointiin käytettiin Streamax-nimisen yrityksen valmistamaa Ceiba II -nimistä ohjelmaa, jonka valmistaja toimitti yhdessä tallennusyksikön ja tutkimuslaitteiston muiden komponenttien kanssa. Ohjelma mahdollistaa kolmen videokameran tuottaman kuvan katsomisen joko erikseen tai yhdenaikaisesti samalla näytöllä. Lisäksi ohjelma näyttää ajoneuvoyhdistelmän reitin ja sijainnin kartalla GPS-paikantimen tuottamaan paikkatietoon perustuen. GPS-paikantimen tietoihin perustuen ohjelma muodostaa myös ajoneuvoyhdistelmän nopeutta ajan suhteen esittävän kuvaajan. Tutkimusmateriaalia kerättyä tallenninyksikkö lisää kunkin kamerasuorituksen ajoneuvoyhdistelmän nopeuden, sijainnin sekä kellonajan. Ruutukaappaus ohjelmiston perusnäköymästä on esillä kuvassa 5.21.



Kuva 5.21. Ruutukaappaus tutkimusmateriaalin analysointiin käytetystä Ceiba II -ohjelmasta. Ohjelma näyttää yhdenaikaisesti kolmen videokameran tuottaman kuvan, ajoneuvoyhdistelmän sijainnin ja reitin kartalla sekä ajoneuvoyhdistelmän nopeutta kuvaavan kuvaajan.

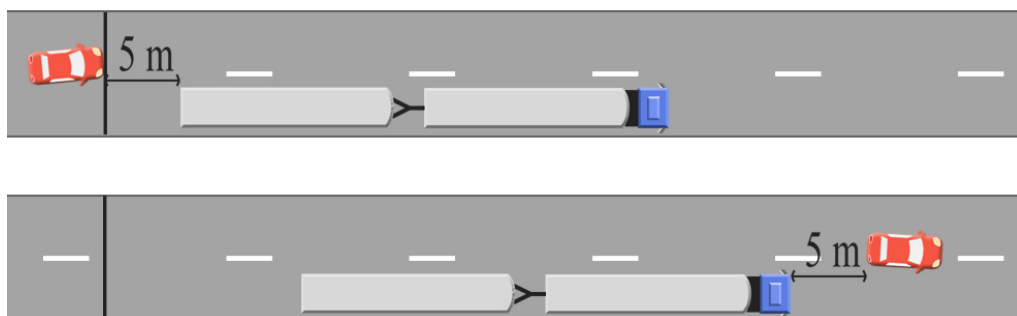
Kerätystä tutkimusmateriaalista analysoitiin tutkimuksen kannalta olennaisia asioita ohituksiin, jonoutumiseen ja ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyen. Lisäksi havainnoitiin mahdollisia vaaratilanteita ja muita poikkeuksellisia tapahtumia. Tutkimusmateriaalista analysoituja asioita on listattu alla kuvassa 5.22. Ohituksiin liittyen analysoidusta videomateriaalista tilastoitiin kaikki ohitukset. Tarkempi analyysi tehtiin kuitenkin vain kaksikaistaisilla tiealueilla tapahtuneille ohituksille. Ohittaneet ajoneuvot jaettiin ajoneuvotyyppin mukaan moottoripyöriin, henkilöautoihin, pakettiautoihin, henkilö- tai pakettiauton ja peräkärryn yhdistelmiin sekä raskaisiin ajoneuvoihin. Lisäksi ohitukset jaettiin kolmeen eri ohitustyyppiin. Kiihdytysohituksella tarkoitettiin ohitusta, jossa ohittava ajoneuvo sopeutti ensin oman nopeutensa ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nopeuteen ja ajoi tämän perässä jonossa, kunnes sopivan ohituspaikan havaittuaan lähti kiihdyttään ohitukseen. Lentävällä ohituksella puolestaan tarkoitettiin ohitusta, jossa ohittaja ei jäänyt ajoneuvoyhdistelmän taakse odottamaan ohituspaikkaa, vaan ohitti ajoneuvoyhdistelmän heti tämän saavutettuaan. Jono-ohitukseksi luokiteltiin ohitukset, joissa ohittaja ohitti saman ohituksen aikana vähintään kaksi ajoneuvoa, joista toinen oli tutkimuslaitteistolla varustettu ajoneuvoyhdistelmä.

<p><u>Ohitukset:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ohitusmäärät, ohitustyytit, ohitusten kestot, ohitusnopeudet... - Ohitusaikavälin pituus - Turva-ajat - Vaaratilanteet, keskeytetyt ohitukset yms. 	<p><u>Jonoutuminen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Jononpituus eri tienkohdissa - Seuranta-aika ennen ohitusta 	<p><u>Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Nopeudet eri tienkohdissa - Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen kiertoliittymissä yms. - Vaaratilanteet ja muut mielenkiintoiset havainnot
---	---	--

Kuva 5.22. Tutkimusmateriaalista analysoituja asioita ohituksiin, jonoutumiseen sekä ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyen.

Ohitusten keston laskemiseksi kustakin ohituksesta määritettiin alkamis- ja päättymishetki. Ohitus katsottiin alkaneeksi, kun ohittavan ajoneuvon etupään ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän takapään välinen etäisyys oli viisi metriä. Vastaavasti ohitus katsottiin päättyneeksi, kun ohittavan ajoneuvon takapään ja ohitettavan yhdistelmän etupään välinen etäisyys oli viisi metriä. Ohituksen alkamis- ja päättymisajan määrittely on esitetty kuvassa 5.23. Andersson et al. (2011) käyttivät vastaavanlaista, ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon väliseen etäisyyteen perustuvaa määrittelyä tutkimuksessaan, jossa selvitettiin eroa tavallisten ja HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohitusturvallisuudessa. Tutkimusta esiteltiin tarkemmin luvussa 4.3.2. Käsillä olevassa tutkimuksessa etäisyydeksi valittiin viisi metriä sekä teoreettisista että käytännöllisistä syistä: oletettiin, että mikäli ajoneuvo saapuu viittä metriä lähemmäksi ohitettavan ajoneuvon takapäätä, sen kuljettaja on aloittanut ohituksen. Vastaavasti oletettiin, että ohittava ajoneuvo voi palata takaisin omalle kaistalleen aikaisintaan edettyään noin henkilöauton mitan ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän edelle. Kuvausteknisistä syistä etäisyys ei olisi myöskään voinut olla lyhyempi kuin viisi metriä, sillä mitä lähemmäs ajoneuvoyhdistelmien etu- ja takareunaa etu- ja takakamera suunnataan, sitä vähemmän saadaan tietoa kauempana ajoneuvoyhdistelmästä tapahtuvista asioista. Ohituksen alkamis- ja päättymishetki voitaisiin määritellä myös esimerkiksi sen perusteella, milloin ohittava

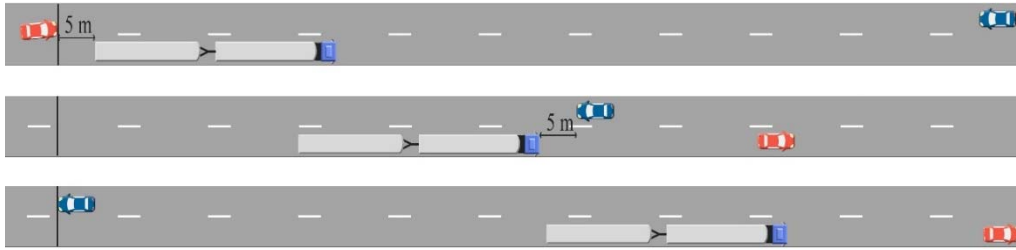
ajoneuvo ylittää osittain tai kokonaan kaistaviivan. Tässä tutkimuksessa käytettiin ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon väliseen etäisyyteen perustuvaa määrittelyä, sillä näin saatiin kuva siitä, kuinka kauan ajoneuvot ajoivat rinnakkain ja miten tämä riippui ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän pituudesta. Muulla tavalla määriteltäessä se, että erilaisen ajotyylin omaavat kuljettajat voivat esimerkiksi palata omalle kaistalleen heti kun se on mahdollista tai vasta siirryttyään kymmeniä metrejä ohitettavan ajoneuvon edelle, vaikuttaisi ohitusten tilastoituun keston.



Kuva 5.23. Ohitus määriteltiin alkaneeksi, kun ohittavan ajoneuvon nokan ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän perän välinen etäisyys oli viisi metriä. Vastaavasti ohituksen katsottiin päättyneen, kun ohittaneen ajoneuvon perän ja ohitetun yhdistelmäajoneuvon nokan välinen etäisyys oli viisi metriä.

GPS-paikantimen tuottaman nopeustiedon ja ohituksen keston avulla voitiin laskea ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän kulkeman matkan pituus sekä ohitettavan yhdistelmän keskinopeus ohituksen aikana. Ohittaneen ajoneuvon kulkema matka ohituksen aikana voitiin laskea lisäämällä ohitetun ajoneuvoyhdistelmän kulkemaan matkaan ohitetun ja ohittaneen ajoneuvon pituudet sekä ohituksen alku- ja päättymishetken määrittelytavasta johtuva yhteensä kymmenen metrin välimatka. Ohittaneen ajoneuvon keskinopeus ohituksen aikana voitiin laskea jakamalla ohittajan kulkema matka ohituksen kestolla. Kustakin ohituksesta laskettiin lisäksi ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon ohituksen aikaisten keskinopeuksien erotus sekä ohittajan keskinopeuden ja ohituspaikalla vallitsevan nopeusrajoituksen välinen erotus.

Eräänlaisena indikaattorina ohittamisen helppoudesta voidaan pitää sitä, kuinka pitkän vastaantulevasta liikenteestä vapaan tiealueen ohittamaan lähtevät ajoneuvot vaativat tehdäkseen positiivisen ohituspäätöksen. Tätä analysoitiin tutkimalla kustakin ohituksesta, kuinka pitkä aika ensimmäisellä vastaantulevalla ajoneuvolla kestää edetä siihen tien poikkileikkaukseen pisteeseen, jossa ohitus katsottiin alkaneeksi. Vastaantulevan ajoneuvon oletettiin ajavan nopeusrajoituksen osoittamaa nopeutta. Näin määritelty ohitusaikaväli kuvaa vastaantulevien ajoneuvojen välistä kokonaista aikaväliä siinä tapauksessa, että ohitus alkaa välittömästi edellisen vastaantulijan kohtaamisen jälkeen. Mikäli ohitus ei ala heti edellisen vastaantulijan kohtaamisen jälkeen, on kyseessä alkuaikaväli. Alkuaikaväli on siis pienempi kuin se kahden vastaantulevan ajoneuvon välinen aikaväli, jossa ohitus tapahtuu. Hyväksytyn ohitusaikavälin määrittäminen siinä tapauksessa, jossa vastaantuleva ajoneuvo on näkyvissä ohituksen alkaessa, on esitetty kuvassa 5.24.



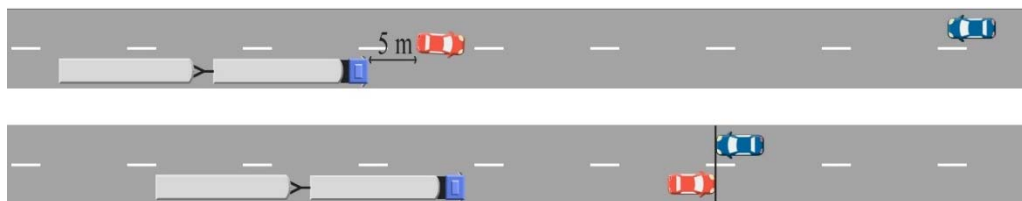
Kuva 5.24. Hyväksytyn ohitusaikavälin määrittäminen tapauksessa, jossa vastaan-tuleva ajoneuvo (kuvassa sininen henkilöauto) on näkyvissä ohituksen al-kaessa. Ohitusaikaväli määritetään kahdessa osassa: Ensin analysoidaan videomateriaalista, kuinka pitkä aika ohituksen alkamisesta (rivi 1) kuluu siihen, että vastaan tulevan ajoneuvon nokan ja ohitetun yhdistelmäajo-neuvon nokan välinen etäisyys on viisi metriä (rivi 2). Sen jälkeen laske-taan, kuinka pitkä aika vastaan tulijalta kestää kulkea siihen tien poikki-leikkauksen pisteeseen, jossa ohituksen katsottiin alkaneen (rivi 3). Las-kemalla edellä mainitut ajat yhteen, saadaan hyväksytyn ohitusaikavälin kesto. Ohitusaikaväli on joko vastaan tulevien ajoneuvojen välinen koko-nainen aikaväli tai kyseisestä aikavälistä jäljellä oleva aika eli alkuai-ka-väli riippuen siitä, alkoiko ohitus välittömästi edellisen vastaan tulijan kohtaamisen jälkeen vai ei.

Mikäli ohitushetkellä ei vastaan tulevaa liikennettä ollut näkyvissä vaan näkemää rajoitti maastoeste, määritettiin ohituspaikalla vallitseva näkemäetäisyys Liikenneviraston tierekisterin näkemäpituustietojen avulla. Sen jälkeen laskettiin, kuinka pitkä aika näkemäesteen takaa ilmestyvällä, nopeusrajoituksen osoittamaa nopeutta ajavalla ajoneuvolla olisi kestänyt saavuttaa tien poikkileikkauksen se piste, jossa ohituksen katsottiin alkaneen. Liikenneviraston tierekisterissä on ilmoitettu teiden näkemäpituuksien minimi- ja maksimiarvoja. Näiden ääriarvojen välillä näkemäpituuden oletetaan muuttuvan lineaarisesti. Tierekisterin tietojen perusteella muodostettiin tietokanta, jonka avulla voitiin määrittää näkemäpituus missä tahansa tien kohdassa. Koska tierekisterissä ilmoitetut näkemäpituudet on ilmoitettu vain yhteen suuntaan, jouduttiin vastakkaiseen ajosuuntaan tapahtuneissa ohituksissa vallinnutta näkemää arvioimaan matemaattisesti. Arvio perustettiin oletukselle, että jos tiedetään pisteessä A vallitsevan näkemän olevan esimerkiksi 800 metriä pohjoissuuntaan, jossa sijaitsee piste B, on pisteessä B vallitsevan näkemän pituus vastaavasti 800 metriä eteläsuuntaan. Tämän oletuksen perusteella voitiin tiedot myös inventointisuuntaa vastakkaisen suunnan näkemistä lisätä tietokantaan.

Hyväksytyn ohitusaikavälin pituus ei kuitenkaan kuvaa sitä, kuinka pitkä aikavälin pitää vähintään olla, jotta ohittamaan pyrkivät kuljettajat tekevät positiivisen ohituspäätöksen. Tämän niin sanotun kriittisen aikavälin selvittämiseksi tulee analysoida myös sitä, kuinka pitkä on kunkin kuljettajan hylkäämä pisin aikaväli. Johdonmukaisesti käyttäytyvillä kuljettajilla pienin hyväksyttävissä oleva aikaväli on kestoaltaan pisimmän hylätyn aikavälin ja hyväksytyn aikavälin välissä. Kunkin ohittajan pisintä hylättyä aikaväliä tutkittiin videomateriaalin perusteella vastaavalla tavalla kuin hyväksyttyjä ohitusaikavälejä. Mikäli ajoneuvo oli pitkään jonossa ajoneuvoyhdistelmän takana, suhteellisen pitkiä hylättyjä ohitusaikavälejä saattoi olla useampia. Tällaisissa tapauksissa kaikkien näiden aikavälien pituus tuli selvittää, jotta pisin hylätty aikaväli saatiin selville. Lentävissä ohituksissa ja jono-ohituksissa ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseksi ei hylätty yhtään aikaväliä, joten pisin hylätty aikaväli merkittiin nollassi. Myös kiihdytysohituksissa pisin hylätty aikaväli merkittiin nollassi, mikäli ajoneuvoyhdistelmän takana tapahtunut jonottaminen tapahtui kokonaan ohituskieltoalueella.

Kun tiedettiin kunkin ohittajan hyväksymän aikavälin pituus sekä pisimmän hylätyn aikavälin pituus, voitiin määrittää ajoneuvoyhdistelmien ohittamiseen vaaditun kriittisen aikavälin keskiarvon suuruus. Kriittisen aikavälin estimoimiseksi käytettiin suurimman uskottavuuden- eli maximum likelihood -menetelmää, joka esiteltiin tarkemmin luvussa 3.4. Kriittistä aikaväliä estimoitaessa ohituksia ei eroteltu sen mukaan, rajoittiko ohittajan näkemää ohituksen alkaessa maastoeste vai vastaantuleva ajoneuvo, vaan ohitukset käsiteltiin tältä osin yhtenä aineistona. Kriittisen aikavälin estimaatti laskettiin käyttämällä aihetta runsaasti tutkineen professori Rod Troutbeckin ohjelmoimaa laskentapohjaa Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmassa. Laskentapohjaan annettiin syötteenä hyväksytyjen ja pisimpien hylätyjen ohitusaikavälien arvot pareittain, ja ohjelma laski aineiston perusteella kriittisen aikavälin estimaatin.

Ohitusten turvallisuutta tutkittiin vertailemalla turva-aikojen pituutta. Turva-aika määriteltiin ajaksi, joka kuluu ohituksen päättymisestä, eli siitä hetkestä, jolloin ohittavan ajoneuvon takapään ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän etupään välinen etäisyys on viisi metriä, siihen hetkeen, jolloin ohittaneen ajoneuvon etupää on kohdakkain vastaantulevan ajoneuvon etupään kanssa. Turva-ajan määrittämisessä käytetyt ajanhetket on esitetty kuvassa 5.25. Ohitusturvallisuuteen liittyen havainnoitiin lisäksi keskeytettyjä ohituksia sekä ohituksissa havaittuja rikkeitä, kuten ohituskieltoalueella tapahtuneita ohituksia.



Kuva 5.25. Turva-ajalla tarkoitettiin tämän työn yhteydessä aikaa, joka kului siitä hetkestä, jolloin ohittanut ajoneuvo oli viisi metriä ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän edellä siihen hetkeen, jolloin ohittanut ajoneuvo oli kohdakkain vastaantulevan ajoneuvon kanssa.

Kustakin ohituksesta tutkittiin myös seuranta-aikaa eli sitä, kuinka pitkän ajan ohittaja ajoi ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän perässä ensimmäisenä jonottajana ennen ohituksen alkuhetkeä. Seuranta-aika vastaa siis likimain jonoteorian käsitettä palveluaika, jolla tarkoitetaan sitä aikaa, jonka asiakas on palvelupisteessä palveltavana. Seuranta-ajan katsottiin alkaneen, kun ohittaja saapui ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän taakse jonoon eli kun ohittajan ja ohitettavan välinen nettoaikaväli oli enintään kolme sekuntia. Lentävissä ohituksissa seuranta-ajaksi merkittiin kuitenkin nolla sekuntia, sillä ohittajan ja ohitettavan nopeuserosta johtuen katsottiin, ettei varsinaista jonottamista tapahtunut. Seuranta-aikaa määritettäessä jono-ohitukset rinnastettiin lentäviin ohituksiin ja seuranta-ajaksi merkittiin nolla sekuntia, sillä jono-ohituksissa ohittaja ei ollut ajoneuvoyhdistelmän takana ensimmäisenä jonottajana ennen ohitusta. Vaikka jono-ohitukseen lähtenyt ajoneuvo oli jonossa ennen ohitusta, jonotusajan tarkka määrittäminen olisi ollut erityisesti pitkien jonojen tapauksessa epätarkkaa ja joissain tapauksissa mahdotonta.

Jonoutumista ajoneuvoyhdistelmien perässä tutkittiin myös laskemalla jononpituus ajoneuvoyhdistelmien perässä viiden minuutin välein. Jonokriteerinä käytettiin kolmen sekunnin nettoaikaväliä: mikäli ajoneuvojen välinen aikaväli oli enintään kolme sekuntia, ajoneuvojen katsottiin olevan jonossa. Kolmen sekunnin aikaväliä vastaava etäisyys riippuu ajonopeudesta siten että esimerkiksi nopeudella 60 km/h kolmen sekunnin aikaväli vastaa 50 metrin etäisyyttä ja nopeudella 80 km/h noin 67 metrin etäisyyttä. Jononpituuden arviointi tutkimuksessa kerätyn materiaalin perusteella on sitä vaikeampaa, mitä pidempi jono on. Mikäli maantienopeuksissa havaitaan esimerkiksi yli viiden ajoneuvon pituinen jono, ovat jonossa viimeisinä ajavat ajoneuvot niin kaukana, että virheen mahdollisuus ajoneuvojen välisen aikavälin pituuden arvioinnissa kasvaa merkittävästi. Ajoneuvojen välisen aikavälin pituuden selvittämisessä pyrittiin käyttämään hyväksi tiealueelta löytyneitä kiintopisteitä, kuten valaisinpylväitä, liikennemerkkejä ja tiemerkintöjä.

Liikennevirtateorian ja aiemmin tehtyjen tutkimusten perusteella tiedettiin, että liikennemäärä vaikuttaa tutkittaviin suureisiin, kuten hyväksytyjen ja hylättyjen ohitusaikavälien pituuteen, turva-aikojen pituuteen, seuranta-ajan kestoon sekä jonoutumiseen. Tämän takia myös liikennemäärää mitattiin analysoitavien tapahtumien aikana ja niitä edeltävinä hetkinä. Kunkin ohituksen yhteydessä tutkittiin vastaantulevan kaistan liikennemäärä viiden minuutin pituiselta ajanjaksolta ennen ohituksen alkuhetkeä. Liikennemäärän laskeminen suoritettiin laskemalla tutkittavaa ajoneuvoyhdistelmää vastaan tulleet ajoneuvot kyseisten viiden minuutin aikana. Koska liikennemäärällä tarkoitetaan tietyn poikkileikkauksen ylittävien ajoneuvojen määrää aikayksikössä, vastaan tulevien ajoneuvojen määrän laskemisen lisäksi tulee mitata tai arvioida sekä ajoneuvoyhdistelmän että vastaantulevien ajoneuvojen nopeus. GPS-koordinaattien avulla voitiin tutkia, kuinka pitkän matkan tutkittava ajoneuvoyhdistelmä ajoi viiden minuutin aikana, ja tämän avulla voitiin laskea ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus kyseisenä aikana. Vastaantulijoiden nopeudeksi oletettiin nopeaksoitituksen osoittama nopeus. Näiden tietojen avulla voitiin laskea, kuinka moni viiden minuutin aikana vastaan tullut ajoneuvo ylitti laskennan aikana sen poikkileikkauksen, jossa laskenta aloitettiin. Liikennemäärää viiden minuutin aikajaksona kuvannut luku kerrottiin luvulla 12, jotta saatiin liikennemäärän yksiköksi ajoneuvoa tunnissa. Mikäli ohitus tapahtui alle viisi minuuttia liikkeellelähdon jälkeen, laskettiin vastaantulijoiden määrä liikkeelläolon ajalta ja saatu liikennemäärä muutettiin sopivan kertoimen avulla yksikköön ajoneuvoa tunnissa.

Ajoneuvoyhdistelmien keskimääräisen nopeustason selvittämiseksi tutkittiin yhdistelmien keskinopeuksia yhdensuuntaisilla matkoilla. Keskinopeudet laskettiin ajoneuvoyhdistelmien reittien yhtenevältä osalta jakamalla matkan pituus siihen käytetyllä ajalla. Reitin ajamiseen käytettyyn aikaan ei luonnollisesti laskettu mukaan mahdollisia matkalla pidettyjä taukoja. Keskinopeuksien lisäksi tutkittiin ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia mäissä. Ivalon ja Rovaniemen välisellä reitillä tarkastelu keskittyi erityisesti Inarissa Saariselän pohjoispuolella sijaitsevaan Magneettimäeksi kutsuttuun mäkeen, sillä se tiedettiin ennakolta Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitin vaativimmaksi nousuksi. Vantaan ja Kempeleen välisellä reitillä HCT- ja verrokkiyhdistelmien nopeuksia vertailtiin Äänekoskella sijaitsevassa Petomäessä. Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän ja Kuljetus Szepaniak Oy:n verrokkiyhdistelmien nousunopeuksia vertailtiin puolestaan Valtatiellä 6 Parikkalassa sijaitsevassa mäessä, jota on tässä työssä nimitetty Vaaranmäeksi. Kullakin reitillä ajoneuvoyhdistelmille laskettiin nousun aikainen keskinopeus yhtäjaksoisen nousun pituuden ja nousuun käytetyn ajan perusteella. Lisäksi GPS-paikantimen tuottamien nopeustietojen avulla ajoneuvoyhdis-

telmien hetkittäistä nopeutta voitiin seurata mäen eri kohdissa ja muodostaa näin nousunopeutta kuljetun matkan suhteen kuvaavia kuvaajia. Nopeustietojen avulla myös määriteltiin ajoneuvoyhdistelmien nopeus nousun alussa sekä nousun aikana havaittu alhaisin nopeus. Analysoiduista nousuista kerättyjen tietojen avulla laskettiin ajoneuvoyhdistelmien nousuja keskimääräisesti kuvaavia arvoja.

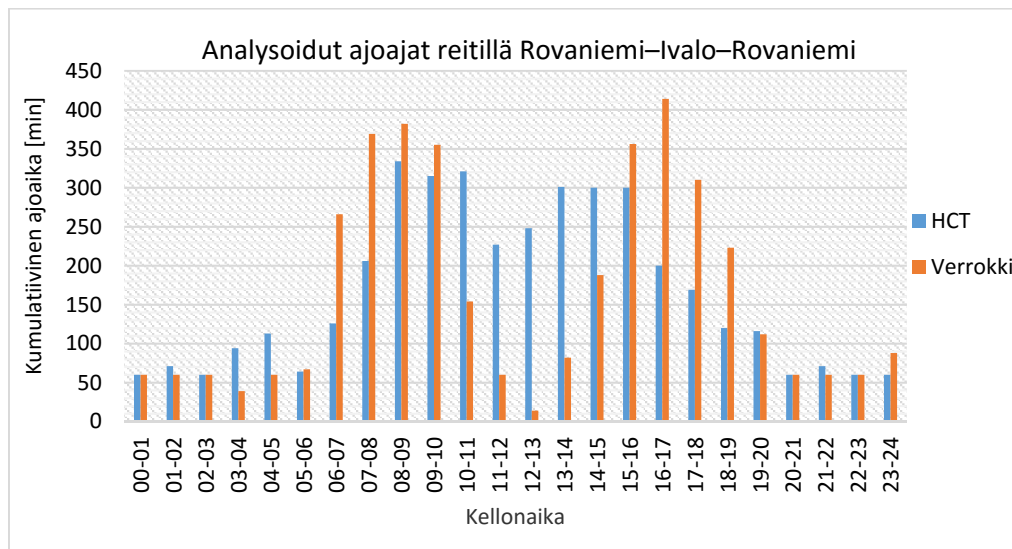
Yhdistelmäajoneuvojen ajoneuvodynaamista käyttäytymistä analysoitiin GPS-paikantimen tuottamien nopeustietojen lisäksi visuaalisiin havaintoihin perustuen. Ajoneuvoyhdistelmien liikkeitä ja liikkumisen sujuvuutta tarkasteltiin muun muassa reiteillä sijaitsevilla kiertoliittymissä sekä muissa liittymissä. Havaintoja pyrittiin tekemään myös ajoneuvoyhdistelmien sivuttaissuuntaisesta heilunnasta erilaisissa tienkohdissa sekä ajoneuvoyhdistelmien suorittamien aktiivisten ohitusten eli niin sanottujen kaksoskaistanvaihtojen aikana. Sekä videomateriaaliin että nopeustietoon perustuen havainnoitiin myös poikkeuksellisten tilanteiden, kuten äkkijarrutusten tai väistöliikkeiden esiintymistä. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että videomateriaaliin ja GPS-tietoihin perustuva havainnointi ei ole tarpeeksi tarkka menetelmä esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmien stabiliteetin tai kiihtyvyyden ja hidastuvuusominaisuuksien tutkimiseksi, mutta se antaa kuitenkin mahdollisuuden tarkkailla sitä, havaitaanko erilaisten yhdistelmien käyttäytymisessä huomattavia eroja ja millaisessa suuruusluokassa mahdolliset erot ovat.

6 Ohituskäyttäytyminen

6.1 Analysoidun materiaalin ja ohitusten määrä

Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Ohituksiin ja jonoutumiseen liittyen Ketosen Kuljetus Oy:n HCT- ja verrokkiyhdistelmän tuottamaa materiaalia analysoitiin ajanjaksolta 4.10.2015–5.11.2015. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän tuottamasta materiaalista analysoitiin kahdeksan Rovaniemeltä Ivalon kuormanvaihtopaikalle tyhjänä ajettua matkaa ja yhdeksän kuormattuna paluusuuntaan ajettua matkaa. Etäisyytenä mitattuna kummankin ajoneuvoyhdistelmän tuottamaa materiaalia analysoitiin noin 4900 kilometriä, mikä vastaa noin 65 ajettua tuntia kummallakin ajoneuvoyhdistelmästä. Analysoidut matkat ovat yhteneviltä päiviltä ja analysoidut päivät puolestaan valittiin niin, että ajoneuvoyhdistelmien lähtöajat olivat mahdollisimman lähellä toisiaan. Tällä pyrittiin siihen, että kerätty materiaali olisi ulkoisten olosuhteiden puolesta mahdollisimman yhtenevää ja siten vertailukelpoista. Kuten kuvasta 6.1 nähdään, ajoneuvoyhdistelmien ajoajoissa oli kuitenkin jonkin verran eroa. Verrokkiyhdistelmä lähti yleensä Rovaniemeltä pohjoiseen aikaisemmin aamulla kuin HCT-yhdistelmä. Vastaavasti verrokkiyhdistelmä saapui kuormattuna Rovaniemelle usein myöhemmin kuin HCT-yhdistelmä. Tämä johtui siitä, että verrokkiyhdistelmä nouti puunsa useimmiten metsästä Ivalon kuormanvaihtopaikan pohjoispuolelta, jolloin yhdensuuntainen ajoaika oli pidempi kuin HCT-yhdistelmällä. Tämän johdosta HCT-yhdistelmän tuottamaa materiaalia kertyi verrokkiä enemmän aamu- ja keskipäivän tunneilta, kun taas verrokin tuottamaa materiaalia analysoitiin HCT-yhdistelmää enemmän aikaisen aamun ja alkuillan tunneilta. Vaikka verrokkiyhdistelmä nouti puunsa Ivalon kuormanvaihtopaikan pohjoispuolelta, sen tuottamasta materiaalista analysoitiin vain HCT-yhdistelmän reitin kanssa yhtenevä reitin osuus.



Kuva 6.1. Analysoidut ajoajat reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi. HCT- ja verrokkiyhdistelmien päivittäisissä aikatauluissa oli jonkin verran eroa, mikä aiheutti ajoneuvoyhdistelmien välistä eroa myös analysoidun materiaalin jakautumiseen vuorokauden eri tunneille.

Keliolosuhteiden osalta analysoitu materiaali sisälsi loppusyksyllä tyypillistä säätä: päiväsaikaan lämpötila oli yleensä hieman nollan yläpuolella, kun taas ilta- ja yöaikaan lämpötila oli hieman pakkasella. Materiaalia saatiin sekä poutaisilta että sateisilta päivistä. Analysoituna aikana tie oli pääosin sula, mutta lokakuun lopulta ja marraskuun alun päivistä saatiin myös materiaalia, jossa tie oli osittain jäinen tai luminen.

Ketosen Kuljetus Oy:n ajoneuvoyhdistelmien tuottamasta aineistosta analysoidussa materiaalissa havaittiin yhteensä 398 kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtunutta, tutkittujen ajoneuvoyhdistelmien kannalta passiivista ohitusta. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla HCT-ajoneuvoyhdistelmä ohitettiin 233 kertaa ja verrokkiyhdistelmä 165 kertaa. Taulukossa 6.1 on kuvattu kaksikaistaisilla teillä havaittujen ohitusten jakautumista suunnittain sekä erilaisiin ohitustyyppisiin. Kuten edellä todettiin, ajoneuvoyhdistelmät ajoivat Ivalon suuntaan tyhjänä ja Rovaniemen suuntaan kuormattuina. Taulukossa on myös ilmoitettu, kuinka suuressa osassa ohituksia vastaan tuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa ja kuinka suuressa osassa ohituksia näkemää rajoitti vastaan tulevan ajoneuvon sijasta maastoeste.

Taulukko 6.1. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten jakautuminen suunnittain sekä kolmeen eri ohitustyyppiin reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu, kuinka monessa ohituksessa vastaan tuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa ja kuinka monessa ohituksessa näkemää rajoitti maastoeste.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yhteensä	Verrokki, yhteensä
Ohituksia 2k-teillä [kpl]	90	51	143	114	233	165
Kiihdytys-ohituksia [%]	68,9	60,8	65,7	61,4	67,0	61,2
Lentäviä ohituksia [%]	27,8	35,3	21,0	30,7	23,6	32,1
Jono-ohituksia [%]	3,3	3,9	13,3	7,9	9,4	6,7
Vastaantulija näkyvissä [%]	2,2	5,9	4,9	6,1	3,9	6,1
Vastaantulija ei näkyvissä [%]	97,8	94,1	95,1	93,9	96,1	93,9

Taulukosta 6.1 nähdään, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksia on havaittu sekä Ivaloon että Rovaniemelle suuntautuneilla matkoilla enemmän kuin verrokkiyhdistelmän ohituksia. Tyhjänä Ivaloon ajetuilla matkoilla passiivisten ohitusten määrän mediaani oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 13 ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 6,5 ohitusta per matka. Vastaavasti kuormattuna ajetuilla yhdensuuntaisilla matkoilla passiivisten ohitusten määrän mediaani oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 15 ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 13 ohitusta per matka.

Kun tarkastellaan ohitusten jakautumista ohitustyyppeihin, havaitaan, että sekä tyhjän HCT- että verrokkiyhdistelmän ohituksista jono-ohituksia oli verrattain pieni osuus: tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista 3,3 % ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksista 3,9 % oli jono-ohituksia. Tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksista noin 35 % oli lentäviä ohituksia, kun taas tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista lentäviä ohituksia oli noin 28 %. Loput ohituksista, eli HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 69 % ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 61 %, olivat kiihdytysohituksia.

Taulukosta 6.1 havaitaan myös, että kuormatun HCT-yhdistelmän ohituksista lentäviä ohituksia oli noin seitsemän prosenttiyksikköä vähemmän ja kiihdytysohituksia noin kolme prosenttiyksikköä vähemmän kuin tyhjän HCT-yhdistelmän ohituksista. Sen sijaan jono-ohitusten määrä oli kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista noin 10 prosenttiyksikköä suurempi tyhjään HCT-yhdistelmään verrattuna. Kuormatun verrokin ohituksista lentäviä ohituksia oli noin neljä prosenttiyksikköä vähemmän ja jono-ohituksia noin neljä prosenttiyksikköä enemmän kuin tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksista. Kiihdytysohitusten prosentuaalisessa osuudessa ei sen sijaan ollut eroa tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksiin.

Taulukosta 6.1 nähdään myös, että suurin osa kaksikaistaisilla teillä havaituista ohituksista oli sellaisia, joissa vastaantuleva ajoneuvo ei ollut näkyvissä ohituksen alkaessa. Kaikista HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista noin 4 % oli sellaisia, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa vastaava luku on hieman yli 6 %. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista hieman suurempi osa oli siis sellaisia, joissa näkemää rajoitti ohituksen alkaessa maastoeste. Taulukossa 6.2 on kuvattu ohittavien ajoneuvojen jakautumista ajoneuvotyyppeihin kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa.

Taulukko 6.2. Ohittajien ajoneuvojakauma kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Henkilöautoja [%]	73,3	80,4	76,2	71,1	75,1	73,9
Pakettiautoja [%]	22,2	11,8	14,0	25,4	17,2	21,2
Peräkärryllisiä henkilö- tai pakettiautoja [%]	3,3	5,9	2,8	2,6	3,0	3,6
Raskaita ajoneuvoja [%]	1,1	2,0	4,2	0,9	3,0	1,2
Matkailuautoja [%]	0,0	0,0	2,8	0,0	1,7	0,0

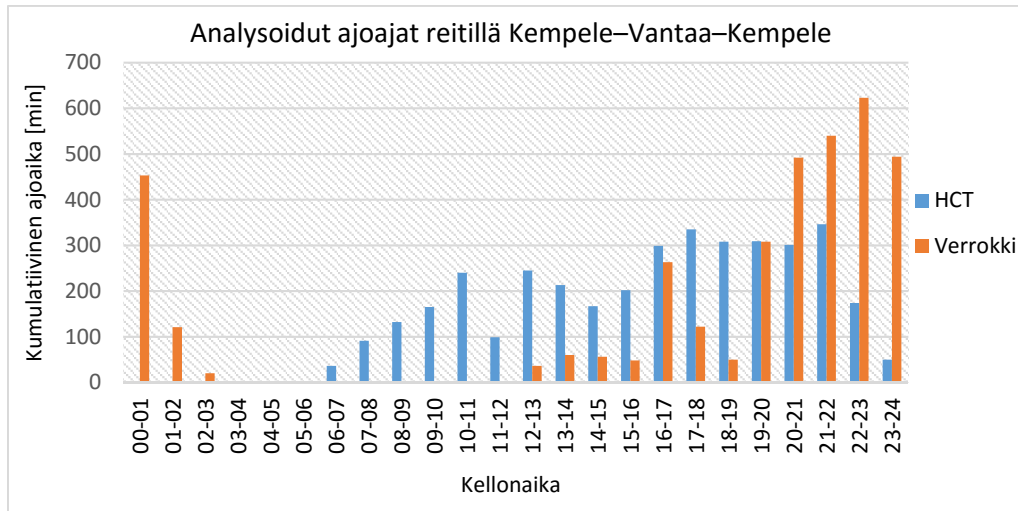
Taulukosta 6.2 nähdään, että valtaosa ohittavista ajoneuvoista on henkilöautoja sekä tyhjänä Ivaloon että kuormattuna Rovaniemelle ajaneiden ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa. Henkilöautojen osuus ohittavista ajoneuvoista vaihtelee noin 71 ja 80 prosentin välillä. Pakettiautojen osuus ohittajista vaihtelee noin 12 ja 25 prosentin välillä. Henkilö- ja pakettiautoja on siis ohittajista valtaosa. Kolmanneksi suurin ohittajaryhmä ovat peräkärrylliset henkilö- ja pakettiautot. Niiden suhteellinen osuus ohittajista vaihtelee noin kolmen ja kuuden prosentin välillä. Raskaita ajoneuvoja, eli linja-autoja, kuorma-autoja ja raskaita ajoneuvoyhdistelmiä on ohittajista noin yhdestä neljään prosenttia. Edellisten lisäksi havaittiin neljä matkailuautojen suorittamaa ohitusta. Kaikissa näistä ohituksista ohitettavana oli kuormattu HCT-ajoneuvoyhdistelmä. Kaiken kaikkiaan taulukon 6.2 perusteella voidaan sanoa, että ohittavien ajoneuvojen jakoumassa ei ole havaittu kovin suurta eroa HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä.

Tutkittujen ajoneuvoyhdistelmien kannalta passiivisten ohitusten lisäksi havaittiin myös joitakin aktiivisia ohituksia. Tutkittuna ajanjaksona HCT-ajoneuvoyhdistelmä ohitti muita ajoneuvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla yhteensä seitsemän kertaa. HCT-yhdistelmän suorittamista ohituksista viisi tapahtui tyhjänä ja kaksi kuormattuna. Verrokkiyhdistelmän suorittamia ohituksia kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittiin puolestaan kuusi kappaletta. Kaikki kyseiset ohitukset tapahtuivat tyhjänä ajettaessa. Ajoneuvoyhdistelmien suorittamisissa aktiivisissa ohituksissa ohitettavana ajoneuvona oli yleensä muuta liikennettä hitaammin ajanut ajoneuvo, kuten traktori, mönkijä, hinausauto tai raskas ajoneuvo. Aliluvuissa 6.2–6.7 kuvatut ohituksiin liittyvät tiedot koskevat tutkittujen ajoneuvoyhdistelmien kannalta passiivisia ohituksia, ellei toisin mainita.

Kempele–Vantaa–Kempele

Ohituksiin ja jonoutumiseen liittyen Mikko Niskala Oy:n ajoneuvoyhdistelmien tuottamaa materiaalia analysoitiin ajanjaksolta 26.12.2015–14.6.2016. Maaliskuuta lukuun ottamatta materiaalia analysoitiin kultakin ajanjaksolle sijoittuvalta kuukaudelta vähintään yhden matkan verran. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän tuottamasta materiaalista analysoitiin seitsemän Vantaalle ajettua matkaa ja viisi Kempeleeseen ajettua matkaa. Kun jätetään huomiotta analysoimatta jätetty moottoritieosuus Vantaan ja Heinolan välillä, analysoitiin kummankin ajoneuvoyhdistelmän ajoa noin 5150 kilometriä. Aikana mitattuna kummankin ajoneuvoyhdistelmän ajoa analysoitiin noin 62 tuntia. Analysoitavaksi valitut matkat valikoitiin niin, että materiaali oli liikenteellisesti ja muilta olosuhteiltaan mahdollisimman yhteneväistä. Analysoidut matkat olivatkin yhtä matkaa lukuun ottamatta yhteneviltä päiviltä.

Päiväkohtaisesti tarkasteltuna HCT- ja verrokkiyhdistelmän aikataulut erosivat toisistaan merkittävästi: HCT-yhdistelmä lähti Kempeleestä kohti Vantaata iltapäivällä ja suuntasi Vantaalta takaisin kohti Kempelettä aikaisin seuraavana aamuna. Myös verrokkiyhdistelmä lähti Kempeleestä kohti Vantaata iltapäivällä, mutta suuntasi Vantaalta takaisin kohti Kempelettä vasta seuraavana iltapäivänä. Niinpä verrokkiyhdistelmän materiaalissa painottuvat iltapäivän, illan ja alkuyön tunnit, kun taas HCT-yhdistelmän materiaali jakautuu tasaisemmin vuorokauden eri tunneille. Koska ajoneuvoyhdistelmien aikataulu on yhteneväisempi Kempeleestä Vantaalle suuntautuvilla matkoilla, näitä matkoja painotettiin hieman enemmän analysoitavia matkoja valittaessa. Kempele–Vantaa–Kempele -reitiltä analysoidun materiaalin jakautuminen vuorokauden eri tunneille on nähtävissä kuvassa 6.2.



Kuva 6.2. *Analysoidut ajoajat reitillä Kempele–Vantaa–Kempele. HCT- ja verrokkiyhdistelmien päivittäiset aikataulut erosivat toisistaan merkittävästi, joten myös analysoidut ajoajat poikkesivat toisistaan. HCT-yhdistelmän tuottama materiaali jakautui suhteellisen tasaisesti vuorokauden tunneille, kun taas verrokkiyhdistelmän materiaalissa painoutuivat illan ja alkuyön tunnit.*

Keliolosuhteiden osalta analysoitu materiaali oli melko monipuolista: materiaalia kerättiin noin puolen vuoden ajan, ja analysoitavaa materiaalia saatiin sekä lumettomalta että lumiselta talvikaudelta, huhtikuiselta kevätkeliltä ja kesäisiltä touko- ja kesäkuulta. Koska tutkimuslaitteiston ja erityisesti liittimien toiminta oli haastavien olosuhteiden vuoksi talvikaudella katkonaista, analysoidussa materiaalissa painottuvat kevät- ja kesäkelit. Koska lisäksi erittäin kovalla sateella tai tien ollessa hyvin märkä kameroiden linssit eivät pysyneet puhtaana eikä näiden päivien materiaalia ollut mahdollista analysoida, painottuvat analysoidussa materiaalissa kuivemmat keliolosuhteet.

Mikko Niskala Oy:n ajoneuvoyhdistelmien tuottamasta aineistosta analysoidussa materiaalissa havaittiin yhteensä 415 kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtunutta ohitusta. HCT-yhdistelmä tuli ohitetuksi yhteensä 237 kertaa ja verrokkiyhdistelmä ohitettiin yhteensä 178 kertaa. Taulukossa 6.3 on kuvattu havaittujen ohitusten jakautumista suunnittain sekä kolmeen eri ohitustyyppiin. Taulukossa on myös ilmoitettu, kuinka suuressa osassa ohituksia vastaan tuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa ja kuinka suuressa osassa ohituksia näkemää rajoitti maastoeste.

Taulukko 6.3. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten jakautuminen suunnittain sekä kolmeen eri ohitustyyppiin reitillä Kempele–Vantaa–Kempele. Taulukkoon on myös listattu, kuinka suuressa osassa ohituksia vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa ja kuinka suuressa osassa ohituksia ohitusnäkemää rajoitti maastoeste.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempele	Verrokki, Kempele	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohituksia 2k- teillä [kpl]	139	112	98	66	237	178
Kiihdytys-ohituksia [%]	66,9	70,5	63,2	65,2	65,4	68,5
Lentäviä ohituksia [%]	14,4	17,9	14,3	16,7	14,3	17,4
Jono-ohituksia [%]	18,7	11,6	22,4	18,2	20,3	14,0
Vastaantulija näkyvissä [%]	28,1	19,6	30,6	4,5	29,1	14,0
Vastaantulija ei näkyvissä [%]	71,9	80,4	69,4	95,5	70,9	86,0

Taulukosta 6.3 nähdään, että HCT-yhdistelmän ohituksia havaittiin enemmän sekä Vantaalle että Kempeleeseen suuntautuneilla matkoilla. Ohitusten määrän mediaani oli Vantaalle suuntautuneilla matkoilla HCT-yhdistelmän tapauksessa 13 kappaletta ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 15 ohitusta per matka. Kempeleeseen suuntautuneilla matkoilla ohitusten määrän mediaani oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 12 ohitusta ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 9 ohitusta per matka. Ohitusten määrässä oli merkittävää vaihtelua niin, että kevät- ja kesäkeleillä ajetuilla matkoilla ohituksia tapahtui merkittävästi enemmän: talvikeleillä tapahtui 2–11 ohitusta per matka, kun taas kesäkeleillä tapahtui 13–46 ohitusta per matka.

Kun tarkastellaan ohitusten jakautumista ohitustyyppeihin, nähdään, että keskimäärin noin kaksi kolmasosaa yhdistelmien ohituksista oli kiihdytysohituksia. HCT-yhdistelmän tapauksessa kiihdytysohituksia oli kummassakin tarkastelusuunnassa hieman enemmän kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Lentävien ohitusten osuus oli verrokkiyhdistelmän tapauksessa keskimäärin noin 3 prosenttiyksikköä suurempi kuin HCT-yhdistelmän tapauksessa, kun taas jono-ohitusten suhteellinen osuus oli HCT-yhdistelmän tapauksessa noin kuusi prosenttiyksikköä suurempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa.

Taulukosta 6.3 nähdään myös, että suurin osa kummankin yhdistelmän ohituksista oli sellaisia, joissa vastaantulevia ajoneuvoja ei ollut näkyvissä ohituksen alkaessa: HCT-yhdistelmän tapauksessa vastaantulija oli näkyvissä noin 29 %:ssa ohituksista ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 14 %:ssa ohituksista. Taulukossa 6.4 on kuvattu ohittavien ajoneuvojen jakautumista ajoneuvotyyppeihin kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa.

Taulukko 6.4. Ohittajien ajoneuvojakauma kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa reitillä Kempele–Vantaa–Kempele.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yhteensä	Verrokki, yhteensä
Henkilöautoja [%]	89,9	88,4	82,7	89,4	86,9	88,8
Pakettiautoja [%]	7,2	8,0	10,2	4,5	8,4	6,7
Peräkärryllisiä henkilö- tai pakettiautoja [%]	0,7	0,0	0,0	1,5	0,4	0,6
Raskaita ajoneuvoja [%]	0,7	0,0	0,0	3,0	0,4	1,1
Moottoripyöriä [%]	1,4	3,6	7,1	1,5	3,8	2,8

Taulukosta 6.4 nähdään, että keskimäärin lähes 90 % HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohittajista oli henkilöautoja. Ohittaneista ajoneuvoista pakettiautoja oli keskimäärin 6,7–8,4 %, kun taas moottoripyöriä ohittajista oli noin 3–4 %. Analysoidussa materiaalissa havaittiin vain muutamia peräkärryllisten henkilö- tai pakettiautojen tai raskaiden ajoneuvojen suorittamia ohituksia. Taulukon 6.4 perusteella voidaan sanoa, ettei ohittajien ajoneuvojakaumassa ollut merkittävää eroa HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä.

Kempele–Vantaa–Kempele reitiltä analysoidussa materiaalissa havaittiin myös joitakin tutkittavien ajoneuvoyhdistelmien kannalta aktiivisia ohituksia. HCT-yhdistelmä ohitti muita ajoneuvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla yhteensä 5 kertaa. Verrokkiyhdistelmä puolestaan suoritti yhteensä 4 aktiivista ohitusta kaksikaistaisilla tieosuuksilla. Kaikissa yhdistelmien kaksikaistaisilla tieosuuksilla suorittamissa aktiivisissa ohituksissa ohitettavana ajoneuvona oli traktori. Yhdistelmät suorittivat myös joitakin aktiivisia ohituksia ohituskaistaosuuksilla. HCT-yhdistelmä ohitti yhteensä neljä raskasta ajoneuvoa ohituskaistaosuuksilla, kun taas verrokkiyhdistelmä suoritti yhteensä kuusi raskaan ajoneuvon ohitusta ohituskaistaosuuksilla.

Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Ohitukseen liittyen Orpe Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmän ja Kuljetus Szeponiak Oy:n verrokkiyhdistelmän tuottamaa materiaalia analysoitiin ajanjaksolta 9.12.2015–29.7.2016. Maalis- ja huhtikuuta lukuun ottamatta materiaalia analysoitiin kultakin ajanjaksolle sijoittuvalta kuukaudelta useamman matkan verran. Saimaan ympäristöstä kerätty tutkimusmateriaali poikkeaa Kempeleen ja Vantaan sekä Rovaniemen ja Ivalon välisillä reiteillä kerätystä materiaalista merkittävästi useammastakin syystä. Ajoneuvoyhdistelmät eivät ole samasta kuljetusyrityksestä, joten niiden asemapaikat eroavat toisistaan: Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän asemapaikkana on Valkeala ja Kuljetus Szeponiak Oy:n verrokkiyhdistelmän asemapaikkana on Parikkala. HCT-

yhdistelmä kuljettaa raakapuuta UPM:n tuotantolaitosten ja terminaalien välillä, kun taas verrokkiyhdistelmällä kuljetetaan pääasiassa haketta myös muiden kuin UPM:n tuotantolaitosten välillä. Verrokkiyhdistelmällä ajetaan siis paljon myös sellaisilla reiteillä ja alueilla, joilla HCT-yhdistelmä ei liikennöi. Lisäksi talvi- ja kevätkaudella 2016 verrokkiyhdistelmä kuljetti useamman kuukauden ajan normaalista tehtävästään poiketen turvetta, eikä tältä ajalta saatu vertailumateriaalia HCT-yhdistelmälle. Niinpä aikataulullisesti ja maantieteellisesti täysin yhtenevän tutkimusmateriaalin kerääminen näillä yhdistelmillä oli mahdotonta.

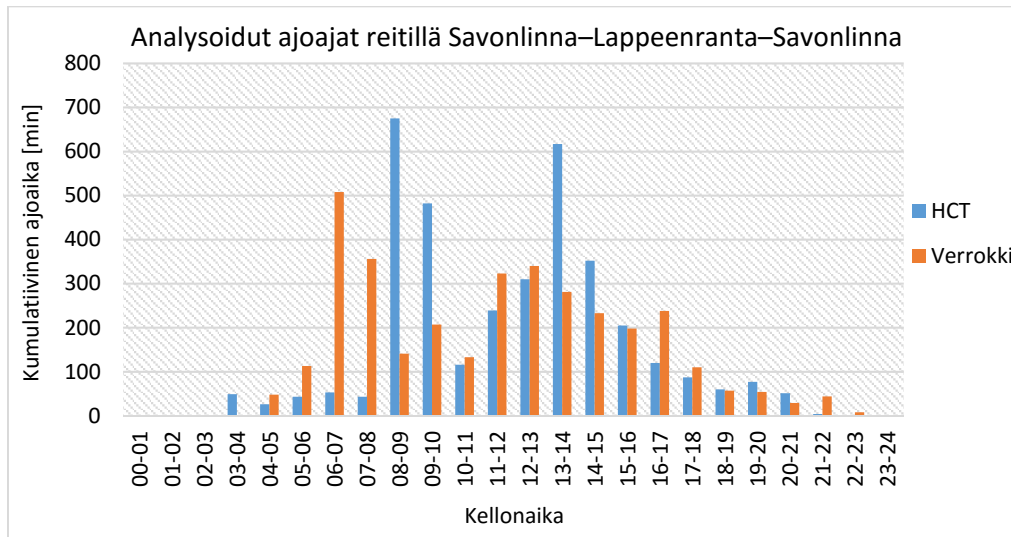
Kuten kuvassa 5.9 esitettiin, Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmällä on lupa liikennöidä ympäri Saimaan. Yhdistelmällä vedetään useampaa puoliperävaunun ja täysperävaunun muodostamaa perävaunuparia vuorotellen niin, että terminaaleissa tyhjät vaunut jätetään kuormattaviksi ja vetoautoon kytketään toinen, valmiiksi kuormattu perävaunupari. Yhdistelmässä käytettävistä perävaunupareista yksi varustettiin kameralaitteistolla. Ajanjaksona, jona tutkimusmateriaalia kerättiin, kyseistä perävaunuparia käytettiin lähinnä reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna. Jonkin verran materiaalia saatiin myös Kouvolan ja Lappeenrannan, Kouvolan ja Ristiinan sekä Ristiinan ja Lappeenrannan väliltä. HCT- ja verrokkiyhdistelmien reiteiltä eniten yhtenevää materiaalia saatiin Savonlinnan ja Lappeenrannan väliltä. Niinpä analyysissä päätettiin keskittyä näiden kaupunkien väliltä kerättyyn materiaaliin. Kummaltakin ajoneuvoyhdistelmältä saatiin lisäksi muutaman matkan verran analysoitavaa materiaalia myös Lappeenrannan ja Kouvolan väliseltä tieosuudelta.

Orpe Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmän tuottamasta materiaalista analysoitiin yhteensä 17 Savonlinnasta Lappeenrantaan ajettua matkaa ja 15 Lappeenrannasta Savonlinnaan ajettua matkaa. Kyseiset matkat ajettiin kuormattuna. Verrokkiyhdistelmän tuottamasta materiaalista analysoitiin 22 Savonlinnasta Lappeenrannan suuntaan ajettua matkaa ja 15 Lappeenrannasta Savonlinnan suuntaan ajettua matkaa. Verrokkiyhdistelmän matkoista vain osa oli sellaisia, joiden lähtöpaikkana ja määränpäänä olivat Lappeenranta ja Savonlinna. Esimerkiksi Joensuun ja Lappeenrannan välisistä matkoista analysoitiin HCT-yhdistelmän reitin kanssa yhtenevä osuus Parikkalan ja Lappeenrannan välillä. Koska osa verrokkiyhdistelmän analysoiduista matkoista oli lyhyempiä kuin HCT-yhdistelmän matkat, kertyi verrokkiyhdistelmän tapauksessa analysoitua materiaalia HCT-yhdistelmää vähemmän, vaikka matkojen kokonaismäärä oli verrokkiyhdistelmän tapauksessa suurempi.

Savonlinnan ja Lappeenrannan välisen osuuden lisäksi jonkin verran analysoitavaa materiaalia saatiin myös Lappeenrannan ja Kouvolan väliltä. HCT-yhdistelmän tuottamasta materiaalista analysoitiin viisi Lappeenrannasta Kouvolaan ajettua matkaa ja kaksi Kouvolaan Lappeenrantaan ajettua matkaa. Verrokkiyhdistelmän tuottamasta materiaalista analysoitiin kolme Lappeenrannasta Kouvolan suuntaan ajettua matkaa ja kuusi Kouvolaan Lappeenrannan suuntaan ajettua matkaa. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa vain osa matkoista oli sellaisia, joiden lähtöpaikkana ja määränpäänä olivat Kouvola ja Lappeenranta. Muissa tapauksissa analysoitiin se matkan osa, joka oli yhtenevä HCT-yhdistelmän reitin kanssa. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa materiaalia Lappeenrannan ja Kouvolan väliseltä tieosalta saatiin siis vähemmän kuin HCT-yhdistelmän tapauksessa.

Yhteensä HCT-yhdistelmän tuottamaa materiaalia analysoitiin noin 60 tuntia, kun verrokkiyhdistelmän tuottamaa materiaalia analysoitiin noin 53 tuntia. Tämä tarkoittaa noin 4800 kilometriä analysoitua materiaalia HCT-yhdistelmällä ja noin 4200 kilometriä analysoitua materiaalia verrokkiyhdistelmällä. Edellä mainittuihin lukuihin on laskettu mukaan vain kaksikaistaisilla tieosuuksilla ajatut tunnit ja kilometrit, sillä Lappeenrannan ja Imatran välisellä 2+2-kaistaisella tieosuudella kerätylle materiaalille ei tehty tarkempaa analyysiä.

Vaikka HCT- ja verrokkiyhdistelmien tuottama materiaali ei ollut ajallisesti ja maantieteellisesti yhtenevää, analysoitavaksi valitut matkat pyrittiin valitsemaan niin, että olosuhteet vastaisivat toisiaan mahdollisimman hyvin. Esimerkiksi HCT-yhdistelmän poutaisena kesäaamuna ajamalle matkalle pyrittiin löytämään verrokkiyhdistelmän toisena poutaisena kesäaamuna ajama matka samalta reitiltä, mikäli yhdistelmät eivät olleet samana päivänä samalla reitillä. Kuvassa 6.3 on esitetty analysoidun materiaalin jakautumista vuorokauden eri tunneille. Kuvasta nähdään, että materiaalia analysoitiin erityisesti aamun ja iltapäivän tunneilta. Lisäksi kuvasta nähdään, että yhdistelmien analysoidut ajoajat ovat kokonaisuutena katsottuna melko lähellä toisiaan.



Kuva 6.3. *Analysoidut ajoajat reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna. Tällä reitillä analysoitu materiaali painottui erityisesti aamun ja iltapäivän tunneille. HCT-yhdistelmän materiaalia kertyi hieman enemmän kuin verrokkiyhdistelmän materiaalia, minkä lisäksi analysoidun materiaalin jakautumisessa vuorokauden eri tunneille oli jonkin verran eroa.*

Keliolosuhteiden osalta analysoitu materiaali oli verrattain monipuolista. HCT-yhdistelmän osalta materiaalia talvikauden keleiltä saatiin joului-, tammi- ja helmikuulta, kun taas verrokkiyhdistelmän osalta talvikauden materiaalia saatiin joului- ja tammikuulta. Analysoitavaa materiaalia talvikeleiltä saatiin kuitenkin suhteellisen vähän, sillä kameralaitteistojen toiminta oli talvella haastavien olosuhteiden vuoksi katkonaista. Lisäksi verrokkiyhdistelmä kuljetti suurimman osan talvikaudesta turvetta reitillä, joka ei ollut yhtenevä HCT-yhdistelmän reitin kanssa. Niinpä analyysissä painottui touko-, kesä- ja heinäkuussa kerätty materiaali. Kesäkauden materiaalia analysoitiin sekä kuivilta että kosteammilta keleiltä, mutta erittäin märillä keleillä kameroiden linssit likaantuivat nopeasti, joten tällaisilta keleiltä materiaalia saatiin analysoidua melko vähän.

Orpe Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmän ja Kuljetus Szepaniak Oy:n verrokkiyhdistelmän tuottamasta aineistosta analysoidussa materiaalissa havaittiin yhteensä 329 tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtunutta ohitusta. HCT-yhdistelmä tuli ohitetuksi 176 kertaa ja verrokkiyhdistelmä 153 kertaa. Taulukossa 6.5 on kuvattu poikki-leikkaukseltaan normaaleilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten jakautumista suunnittain sekä kolmeen eri ohitustyyppiin. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu, kuinka suuressa osassa ohituksia vastaan tuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa ja kuinka suuressa osassa ohituksia näkemää rajoitti maastoeste.

Kuten edellä mainittiin, jonkin verran materiaalia analysoitiin myös Lappeenrannan ja Kouvolan väliseltä tieosuudelta. Erityistä tälle tieosuudelle on se, että sillä on vajaan kolmenkymmenen kilometrin mittainen leveäkaistatieosuus. Leveäkaistatiellä kaistaleveys on 5,5 metriä, kun tavallisella kaksikaistaisella tiellä kaistaleveys on yleensä 3,5 tai 3,75 metriä. Koska materiaalia leveäkaistatieltä saatiin kummallakin ajoneuvoyhdistelmällä verrattain vähän, myös leveäkaistatieosuudella tapahtuneiden ohitusten määrä jäi vähäiseksi. HCT-yhdistelmä tuli ohitetuksi leveäkaistatiellä yhteensä 40 kertaa ja verrokkiyhdistelmä yhteensä 18 kertaa. Koska ohituskäyttäytymisen oletettiin olevan leveäkaistateilla jossain määrin erilaista kuin tavallisilla kaksikaistaisilla teillä, leveäkaistateilla tapahtuneita ohituksia käsitellään erikseen. Leveäkaistateilla tapahtuneita ohituksia oli kuitenkin niin vähän, että tilastollinen tarkastelu on niiden osalta jätetty tarkoituksella hyvin pintapuoleiseksi. Leveäkaistateilla tapahtuneiden ohitusten jakautumista suunnittain ja ohitustyypeittäin on kuvattu taulukossa 6.6.

Taulukko 6.5. Tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten jakautuminen suunnittain sekä kolmeen eri ohitustyyppiin reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna. Taulukkoon on myös listattu, kuinka suuressa osassa ohituksia vastaan tuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa ja kuinka suuressa osassa ohituksia ohitusnäkemää rajoitti maastoeste.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Kouvolaan	Verrokki, Kouvolaan	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohituksia 2k-teillä [kpl]	78	106	98	47	176	153
Kiihdytys-ohituksia [%]	69,2	62,3	71,4	78,7	70,5	67,3
Lentäviä ohituksia [%]	14,1	17,0	16,3	10,6	15,3	15,0
Jono-ohituksia [%]	16,7	20,8	12,2	10,6	14,2	17,6
Vastaantulija näkyvissä [%]	11,5	11,3	14,3	14,9	13,1	12,4
Vastaantulija ei näkyvissä [%]	88,5	88,7	85,7	85,1	86,9	87,6

Taulukko 6.6. Leveäkaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten jakautuminen suunnittain sekä kolmeen eri ohitustyyppiin Kouvolan ja Lappeenrannan välillä. Taulukkoon on myös listattu, kuinka suuressa osassa ohituksia vastaan tuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa ja kuinka suuressa osassa ohituksia ohitusnäkemää rajoitti maastoeste.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Kouvo- laan	Verrokki, Kouvo- laan	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohituksia leveäkaistateilla [kpl]	23	9	17	9	40	18
Kiihdytys-ohituksia [%]	60,9	44,4	64,7	66,7	62,5	55,6
Lentäviä ohituksia [%]	21,7	33,3	35,3	11,1	27,5	22,2
Jono-ohituksia [%]	17,4	22,2	0,0	22,2	10,0	22,2
Vastaantulija näkyvissä [%]	43,5	44,4	47,1	0,0	45,0	22,2
Vastaantulija ei näkyvissä [%]	56,5	55,6	52,9	100,0	55,0	77,8

Taulukosta 6.5 nähdään, että Savonlinnasta Lappeenrannan suuntaan ajetuilla matkoilla HCT-yhdistelmän ohituksia havaittiin 28 kappaletta vähemmän kuin verrokkiyhdistelmän ohituksia. Vastakkaisen suunnan materiaalissa puolestaan HCT-yhdistelmän ohituksia havaittiin yli kaksinkertainen määrä verrokkiyhdistelmän ohituksiin verrattuna. Toisaalta HCT-yhdistelmän materiaalia myös analysoitiin tähän suuntaan noin 25 % enemmän kuin verrokkiyhdistelmän materiaalia.

Kun tarkastellaan ohitusten jakautumista ohitustyyppeihin, nähdään, että keskimäärin hieman yli kaksi kolmasosaa ohituksista oli tavallisia kiihdytysohituksia. Lentävien ohitusten suhteellinen osuus oli kummankin yhdistelmän tapauksessa keskimäärin noin 15 %. Jono-ohituksia oli verrokkiyhdistelmän ohituksista hieman suurempi osuus kuin HCT-yhdistelmän ohituksista, mutta erot ohitustyyppien jakaumassa eivät ole kovinkaan suuria. Taulukosta 6.5 nähdään myös, että noin 12–13 prosenttia ohituksista oli sellaisia, joissa vastaan tuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa. Valtaosassa ohituksia ohitusnäkemää siis rajoitti maastoeste.

Taulukosta 6.6 nähdään puolestaan, että leveäkaistateilla ohituksia havaittiin verrattain vähän vähäisen aineiston johdosta. HCT-yhdistelmän ohituksia leveäkaistateilla havaittiin noin kaksinkertainen määrä verrokkiyhdistelmään nähden, mutta toisaalta myös analysoidun materiaalin määrä oli HCT-yhdistelmän tapauksessa suurempi. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa kaikki leveäkaistatieosuuksilta saatu materiaali oli

joulu–tammikuulta, kun taas HCT-yhdistelmän tapauksessa hieman yli puolet materiaalista oli kesäkaudelta ja loput talvikaudelta.

Kun tarkastellaan leveäkaistateillä tapahtuneiden ohitusten jakautumista ohitustyyppeihin, nähdään, että kiihdytysohitusten suhteellinen osuus on pienempi ja lentävien ohitusten suhteellinen osuus suurempi kuin tavallisilla kaksikaistaisilla teillä. Jono-ohitusten suhteellinen osuus vaihtelee välillä 0–22 prosenttia, joten hajonta on suurta. Toisaalta aineisto on niin pieni, ettei siitä kannata vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Taulukosta 6.6 nähdään myös, että sellaisten ohitusten määrä, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa, on merkittävästi suurempi kuin tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla.

Koska materiaalia leveäkaistateiltä saatiin määrällisesti vain vähän ja koska ajoneuvoyhdistelmien väliset erot leveäkaistateiltä saadun materiaalin jakautumisessa eri vuodenajoille olivat suuria, ei syvällisen tilastollisen analyysin tekemistä leveäkaistatieohituksista katsottu mielekkääksi. Seuraavissa aliluvuissa esitetyt tulokset Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän ja Kuljetus Szepaniak Oy:n verrokkiyhdistelmän reitiltä koskevat tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneita ohituksia, ellei toisin mainita. Taulukossa 6.7 on kuvattu ohittajien jakautumista ajoneuvotyyppeihin tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa.

Taulukko 6.7. Ohittajien ajoneuvojakauma tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, Savonlinnaan	Verrokki, Savonlinnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Henkilöautoja [%]	83,3	84,9	87,8	95,7	85,8	88,2
Pakettiautoja [%]	9,0	9,4	7,1	2,1	8,0	7,2
Peräkärryllisiä henkilö- tai pakettiautoja [%]	1,3	1,9	0,0	0,0	0,6	1,3
Raskaita ajoneuvoja [%]	1,3	0,0	2,0	0,0	1,7	0
Moottoripyöriä [%]	5,1	3,8	3,1	0,0	4,0	2,6
Matkailuautoja [%]	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,7

Taulukosta 6.7 nähdään, että yli 85 % sekä HCT-yhdistelmän että verrokkiyhdistelmän ohittaneista ajoneuvoista oli henkilöautoja. Pakettiautoja oli ohittajista keskimäärin noin 7–8 %. Loppuosa ohittajista oli moottoripyöriä, peräkärryllisiä henkilö- tai pakettiautoja, raskaita ajoneuvoja sekä matkailuautoja. HCT-yhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän ohittaneiden ajoneuvojen jakaumassa ei nähdä merkittävää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä.

Tutkittujen ajoneuvoyhdistelmien kannalta passiivisten ohitusten lisäksi havaittiin myös joitakin ajoneuvoyhdistelmien suorittamia aktiivisia ohituksia. Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän suorittamia aktiivisia ohituksia kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittiin kaksi kappaletta. Kummassakin tapauksessa ohitettavana ajoneuvona oli traktori. Verrokkiyhdistelmän suorittamia ohituksia havaittiin puolestaan viisi kappaletta. Kolmessa ohituksessa ohitettavana ajoneuvona oli traktori, yhdessä tapauksessa mönkijä ja yhdessä tapauksessa kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmä.

Reitit yhdessä tarkasteltuna

Ohituksiin ja jonoutumiseen liittyen tutkimusmateriaalia analysoitiin lokakuun 2015 ja heinäkuun 2016 välillä kerätystä aineistosta yhteensä noin 367 tuntia, joista noin 187 tuntia oli HCT-yhdistelmien tuottamaa materiaalia ja noin 180 tuntia verrokkiyhdistelmien tuottamaa materiaalia. Analysoitu määrä tarkoittaa lähes 15 000 ajettua kilometriä HCT-yhdistelmillä ja yli 14 000 ajettua kilometriä verrokkiyhdistelmillä.

Aineiston analysoinnissa keskityttiin erityisesti kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneisiin, tutkittavien ajoneuvoyhdistelmien kannalta passiivisiin ohituksiin. Yhteensä tällaisia ohituksia havaittiin analysoidussa materiaalissa 1200 kappaletta. Näistä HCT-yhdistelmien ohituksia oli 686 kappaletta ja verrokkiyhdistelmien ohituksia 514 kappaletta. Edellä mainitut luvut sisältävät myös Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän ja Kuljetus Szepaniak Oy:n verrokkiyhdistelmän leveäkaistatieosuuksilla tapahtuneet ohitukset, joita analysoidussa materiaalissa oli yhteensä 58 kappaletta. Kaikilla reiteillä HCT-yhdistelmien ohituksia oli analysoidussa materiaalissa jonkin verran verrokkiyhdistelmien ohituksia enemmän.

Ohitustyyppien jakaumassa ei ollut suuria reittien välisiä eroja. Kaikilla reiteillä kiihdytysohituksia oli kaikista ohituksista keskimäärin noin 61–71 %. Lentäviä ohituksia oli reiteillä Kempele–Vantaa–Kempele sekä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna noin 15–17 %. Reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi lentäviä ohituksia oli suhteellisesti hieman suurempi osuus, HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 24 % ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 32 %. Loput ohituksista olivat jono-ohituksia. Lapin reitillä niitä oli noin 7–9 % ohituksista ja kahdella muulla reitillä noin 14–20 % ohituksista. Kaikilla reiteillä valtaosa ohituksista oli sellaisia, joissa ohitusnäkemää rajoitti maastoeste, eikä vastaantulevia ajoneuvoja ollut näkyvissä ohituksen alkaessa. Lapin reitillä keskimäärin 94–96 %:ssa ohituksia vastaantulijoita ei ollut näkyvissä ohituksen alkaessa. Kahdella muulla reitillä tällaisten ohitusten vastaava osuus oli keskimäärin 71–88 %.

Ilman peräkärryä ajaneet henkilö- ja pakettiautot suorittivat kaikilla reiteillä keskimäärin 92–96 % ohituksista kaksikaistaisilla tieosuuksilla. Lapin reitillä pakettiautoja oli ohittajista keskimäärin noin 17–21 %, kun taas kahdella muulla reitillä pakettiautoja oli noin 7–8 % ohittajista ja vastaavasti henkilöautojen suhteellinen osuus oli hieman suurempi. Loput ohittaneista ajoneuvoista olivat peräkärryllisiä henkilö- tai pakettiautoja, moottoripyöriä, raskaita ajoneuvoja ja matkailuautoja. Näiden yhteenlaskettu suhteellinen osuus oli kaikilla reiteillä verrattain pieni.

Leveäkaistatieosuuksilta saatiin analysoitavaa materiaalia verrattain vähän, joten myös analysoitujen ohitusten määrä leveäkaistaisilta tieosuuksilta jäi vähäiseksi. Tarkan tilastollisen analyysin tekeminen näin pienestä aineistosta ei ole mielekästä, joten seuraavissa aliluvuissa keskitytään poikkileikkauksiltaan tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneisiin ohituksiin. Aineisto antaa kuitenkin viitteitä siitä, että ohituskäyttäytyminen leveäkaistateilla eroaa jossain määrin ohituskäyttäytymisestä tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla. Esimerkiksi sellaisten ohitusten suhteellinen

osuus, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa, oli leveäkaistateillä merkittävästi suurempi kuin muilla kaksikaistaisilla teillä. Myös lentävien ohituksen suhteellinen osuus vaikuttaa olevan suurempi kuin tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla.

6.2 Ohitusten kesto

Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Ohitusten kestoja tutkittiin luvussa 5.4 esitetyllä tavalla. Tiedot Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi -reitillä kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten kestojen keski- ja mediaaniarvoista sekä keskihajonnasta on esitetty taulukossa 6.8. Arvot on laskettu sekä kaikista kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista että vain niistä kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.

Taulukko 6.8. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten keston keskiarvoja, mediaaniarvoja sekä keskihajonnan arvoja reitiltä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi.

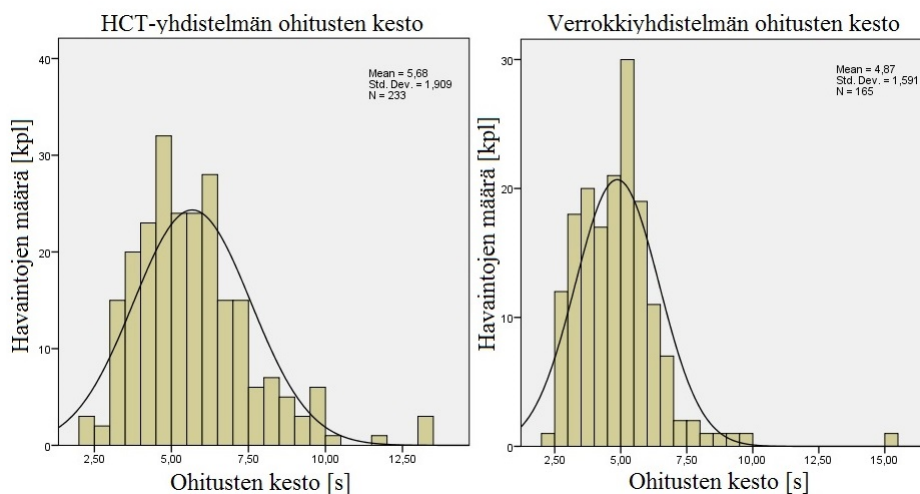
Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohitusten keston keskiarvo [s], kaikki ohitukset	6,0	4,8	5,5	4,9	5,7	4,9
Ohitusten keston mediaani [s], kaikki ohitukset	5,9	4,8	5,0	4,9	5,3	4,9
Ohitusten keston keskihajonta [s], kaikki ohitukset	1,9	1,6	1,9	1,6	1,9	1,6
Ohitusten keston keskiarvo [s], ohittajana henkilöauto	5,6	4,3	4,9	4,7	5,2	4,6
Ohitusten keston mediaani [s], ohittajana henkilöauto	5,3	4,2	4,8	4,8	5,0	4,6
Ohitusten keston keskihajonta [s], ohittajana henkilöauto	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2

Taulukosta 6.8 nähdään, että Ivalon suuntaan ajaneen tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitukset kestivät keskimäärin 6,0 sekuntia, kun taas tyhjän verrokkiyhdistelmän ohitukset kestivät keskimäärin 4,8 sekuntia eli 1,2 sekuntia vähemmän. Ohitusten keskeisten keskiarvojen ero todettiin tilastollisesti erittäin merkitseväksi riippumattomien otosten t-testillä (riskitaso $p < 0,001$). Kun tarkastellaan vain henkilöautojen suorittamia ohituksia, ohitusten keskimääräiset kestot laskevat noin puoli sekuntia, mutta erot ohitusten kestoissa yhdistelmien välillä säilyvät suunnilleen samansuuruisina verrattuna kaikista ohituksista laskettuihin arvoihin. Rovaniemen suuntaan ajaneiden kuormattujen yhdistelmien ohitusten kestoissa erot HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä ovat huomattavasti pienempiä: kuormatun HCT-yhdistelmän ohitus kesti keskimäärin 5,5 sekuntia, kun taas kuormatun verrokkiyhdistelmän ohitus kesti keskimäärin 4,9 sekuntia. Ero kuormattujen yhdistelmien ohitusten kestojen keskiarvoissa todettiin kuitenkin tilastollisesti merkitseväksi ($p < 0,05$). Mikäli tarkastellaan vain henkilöautojen suorittamia kuormattujen yhdistelmien ohituksia, nähdään, että erot ohitusten kestoissa pienenevät edelleen: henkilöautot ohittivat kuormatun HCT-yhdistelmän keskimäärin 4,9 sekunnissa, kun henkilöauton suorittama verrokkiyhdistelmän ohitus oli keskimäärin 0,2 sekuntia lyhyempi. Riippumattomien otosten t-testillä todettiin, että henkilöautojen suorittamissa kuormattujen yhdistelmien ohituksissa erot ohitusaikojen kestojen keskiarvoissa eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Ohitusten kestojen keskihajontoja verrattaessa nähdään, että hajonta oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa 1,9 sekuntia eli 0,4 sekuntia suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Kummankaan yhdistelmän tapauksessa hajonnassa ei ollut eroa tyhjien ja kuormattujen yhdistelmien ohitusten välillä. Lisäksi nähdään, että henkilöautojen suorittamissa ohituksissa keskihajonnat olivat kaikissa tapauksissa 0,4 sekuntia pienempiä kuin kaikkien ajoneuvojen suorittamissa ohituksissa.

Taulukon 6.8 avulla voidaan myös vertailla Ivalon suuntaan ajaneiden tyhjien ja Rovaniemen suuntaan ajaneiden kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohitusten kestoa. Taulukosta nähdään, että kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen kesti keskimäärin 0,5 sekuntia vähemmän kuin tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen. Ero todettiin myös tilastollisesti merkitseväksi ($p < 0,05$). Kuormatun verrokkiyhdistelmän ohittaminen puolestaan kesti keskimäärin 0,1 sekuntia kauemmin kuin tyhjän verrokkiyhdistelmän ohittaminen. Ero ei ole tilastollisesti merkitsevä. Mikäli verrataan ainoastaan henkilöautoilijoiden suorittamia ohituksia, ovat erot ohitusten kestossa tyhjien ja kuormattujen yhdistelmien välillä hieman edellä esitettyjä arvoja suurempia. Ohitusten kestoon vaikuttavat aliluvussa 5.4 esitetyllä tavalla ohitettavan ja ohittavan ajoneuvon pituudet ja nopeudet. Taulukon 6.8 lukuja tarkasteltaessa onkin syytä muistaa, että Ketosen Kuljetus Oy:n verrokkiyhdistelmässä käytettiin tutkimusmateriaalin keräämisen aikana pituudeltaan muuttuvaa, niin sanottua jatkettavaa varsinaista perävaunua. Tyhjänä ajettaessa perävaunu oli lyhyessä muodossaan, jolloin verrokkiyhdistelmän kokonaispituus oli noin 22 metriä. Kuormattuna ajettaessa varsinainen perävaunu oli pitkässä muodossaan, jolloin yhdistelmän kokonaispituus oli noin 25 metriä. Tämä tekijä selittää osan taulukosta 6.8 nähtävistä eroista. Toista vaikuttavaa tekijää, eli ohittavien ja ohitettavien ajoneuvojen ohitusten aikaisia nopeuksia on käsitelty luvussa 6.4.

Kuvassa 6.4 on esitetty HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohitusten kestojen frekvenssijakauma. Jakaumiin on otettu mukaan ohittavan ajoneuvon ajoneuvotyyppistä riippumatta kaikki kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaitut sekä tyhjien että kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohitukset. Kuvasta nähdään, että ohitusajat noudattavat melko hyvin normaalijakaumaa. Lisäksi kuva havainnollistaa edellä mainittua keskihajontojen eroa. Erityisesti 7,5–10 sekuntia kestävien ohitusten suhteellinen osuus on HCT-

yhdistelmän ohituksissa suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Myös yli 10 sekuntia kestäneitä ohituksia on HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa hieman enemmän kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa.



Kuva 6.4. Ohitusten keston frekvenssijakauma HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi.

Kempele–Vantaa–Kempele

Tiedot Kempele–Vantaa–Kempele -reitien kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten kestojen keski- ja mediaaniarvoista sekä keskihajonnasta on esitetty taulukossa 6.9. Arvot on laskettu sekä kaikilla kaikista kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista että vain niistä kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.

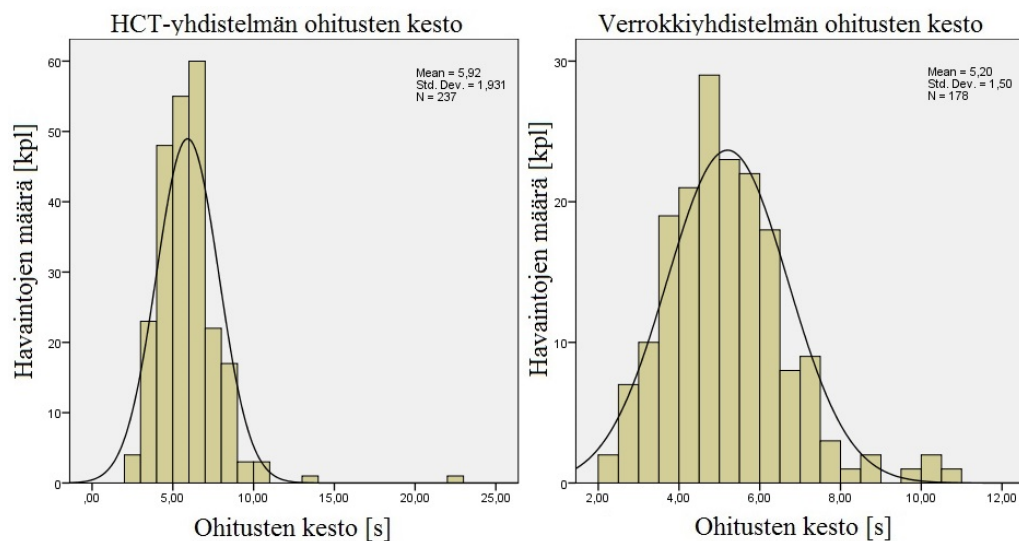
Taulukko 6.9. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten keston keskiarvoja, mediaaniarvoja sekä keskihajonnan arvoja reitiltä Kempele–Vantaa–Kempele.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohitusten keston keskiarvo [s], kaikki ohitukset	6,0	5,3	5,8	5,1	5,9	5,2
Ohitusten keston mediaani [s], kaikki ohitukset	5,8	5,2	5,8	4,9	5,8	5,1
Ohitusten keston keskihajonta [s], kaikki ohitukset	2,1	1,4	1,6	1,6	1,9	1,5
Ohitusten keston keskiarvo [s], ohittajana henkilöauto	5,9	5,2	6,0	4,8	5,9	5,1
Ohitusten keston mediaani [s], ohittajana henkilöauto	5,8	5,2	6,0	4,8	5,9	5,0
Ohitusten keston keskihajonta [s], ohittajana henkilöauto	1,6	1,4	1,6	1,2	1,6	1,3

Taulukosta 6.9 nähdään, että Vantaan suuntaan ajaneen HCT-yhdistelmän ohitukset kestivät keskimäärin 6,0 sekuntia, kun taas verrokkiyhdistelmän ohitukset kestivät keskimäärin 5,3 sekuntia. Ohitusten kestojen keskiarvojen ero todettiin riippumattomien otosten t-testillä tilastollisesti merkitseväksi (riskitaso $p < 0,01$). Kun tarkastellaan vain henkilöautojen suorittamia ohituksia, ohitusten keston keskiarvo lyhenee HCT-yhdistelmän tapauksessa 0,2 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 0,1 sekuntia.

Kun vertaillaan ohitusten kestojen keskiarvoja suunnittain, nähdään, että Kempeleen suuntaan ajaneiden yhdistelmien ohitukset olivat 0,2 sekuntia lyhyempiä kuin Vantaan suuntaan ajaneiden yhdistelmien ohitukset. Ajoneuvoyhdistelmien välinen ero ohitusten keston keskiarvossa on kuitenkin yhtä suuri, 0,7 sekuntia, kumpaankin suuntaan tarkasteltuna. Ohitusten kestojen keskiarvojen ero todettiin tässä tarkastelusuunnassa erittäin merkitseväksi ($p < 0,001$). Kun vertaillaan ohitusten kestojen keskihajontoja, nähdään, että HCT-yhdistelmän ohituksissa keskihajonta oli keskimäärin 0,4 sekuntia suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Henkilöautojen suorittamissa ohituksissa keskihajonta oli kummankin yhdistelmän tapauksessa keskimäärin 0,3 sekuntia pienempi kuin kaikista ohituksista laskettu keskihajonta.

Kuvassa 6.5 on esitetty HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohitusten kestojen frekvenssijakauma Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä. Aineistoihin on otettu mukaan ohittajien ajoneuvotyypistä riippumatta kaikki kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaitut ohitukset. Kuvasta nähdään, että ohitusajat noudattavat melko hyvin normaalijakaumaa.



Kuva 6.5. Ohitusten keston frekvenssijakauma HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa reitillä Kempele–Vantaa–Kempele.

Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Tiedot Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna-reitin poikkileikkaukseltaan normaaleilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten kestojen keski- ja mediaaniarvoista sekä keskiajonnasta on esitetty taulukossa 6.10. Arvot on laskettu sekä kaikista normaaleilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista että vain niistä ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.

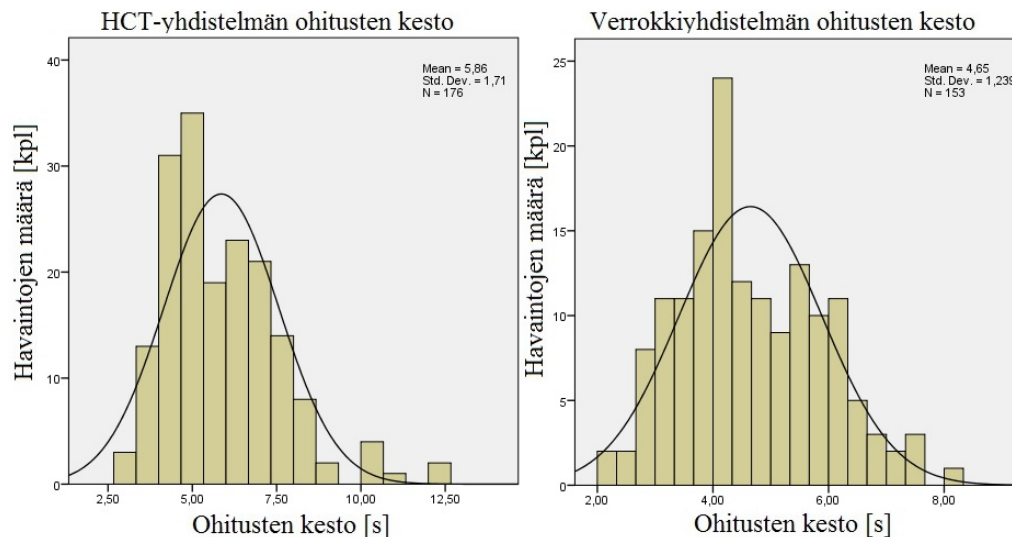
Taulukko 6.10. Normaaaleilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten keston keskiarvoja, mediaaniarvoja sekä keskihajonnan arvoja reitiltä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:linnaan	Verrokki, S:linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohitusten keston keskiarvo [s], kaikki ohitukset	5,8	4,6	5,9	4,9	5,9	4,6
Ohitusten keston mediaani [s], kaikki ohitukset	5,3	4,3	5,8	4,7	5,5	4,4
Ohitusten keston keskihajonta [s], kaikki ohitukset	1,5	1,2	1,9	1,3	1,7	1,2
Ohitusten keston keskiarvo [s], ohittajana henkilöauto	5,8	4,5	5,8	4,8	5,8	4,6
Ohitusten keston mediaani [s], ohittajana henkilöauto	5,4	4,3	5,8	4,7	5,6	4,4
Ohitusten keston keskihajonta [s], ohittajana henkilöauto	1,5	1,2	1,7	1,3	1,7	1,2

Taulukosta 6.10 nähdään, että Lappeenrannan suuntaan ajaneen HCT-yhdistelmän ohitukset kestivät keskimäärin 5,8 sekuntia, kun taas verrokkiyhdistelmän ohitukset kestivät 4,6 sekuntia eli 1,2 sekuntia vähemmän. Ohitusten kestojen keskiarvojen ero todettiin tilastollisesti erittäin merkitseväksi riippumattomien otosten t-testillä ($p < 0,001$). Vain henkilöautojen suorittamien ohitusten kestojen keskiarvot ovat 5,8 sekuntia ja 4,5 sekuntia, eli ajoneuvoyhdistelmien välinen ero ohitusten kestossa on 1,3 sekuntia.

Savonlinnan suuntaan ajaneen HCT-yhdistelmän ohitukset kestivät keskimäärin 5,9 sekuntia eli 0,1 sekuntia kauemmin kuin vastakkaiseen suuntaan ajettaessa. Savonlinnan suuntaan ajaneen verrokkiyhdistelmän ohitukset kestivät puolestaan keskimäärin 4,9 sekuntia, eli 0,3 sekuntia kauemmin kuin vastakkaiseen suuntaan ajettaessa. Ajoneuvoyhdistelmien välinen ero ohitusten kestossa oli siis Savonlinnan suuntaan ajettaessa 1,0 sekuntia. Tässä tarkastelusuunnassa ajoneuvoyhdistelmien välinen ero ohitusten kestojen keskiarvoissa todettiin tilastollisesti merkitseväksi ($p < 0,01$). Kun vertaillaan ohitusten keston keskihajontoja, nähdään, että HCT-yhdistelmän ohituksissa keskihajonta oli keskimäärin 0,5 sekuntia suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Keskihajonnan keskimääräiset arvot eivät muutu, kun tarkastellaan vain henkilöautojen suorittamia ohituksia.

Kuvassa 6.6 on esitetty HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohitusten kestojen frekvenssijakauma Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä. Jakaumiin on otettu mukaan ohittajien ajoneuvotyyppistä riippumatta kaikki poikkileikkauksiltaan normaaleilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaitut ohitukset. Kuvasta nähdään, että myös tällä reitillä ohitusajat noudattavat melko hyvin normaalijakaumaa. Lisäksi kuvasta nähdään, että verrokkiyhdistelmän ohitusaikahavainnoista ei löydy yhtään noin 10 sekuntia pitkiä tai sitä pidempiä ohitusaikoja, kun taas HCT-yhdistelmän aineistossa pitkiä ohitusaikoja on suhteellisesti enemmän.



Kuva 6.6. Ohitusten keston frekvenssijakauma HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Reitit yhdessä tarkasteltuna

Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten kestoja tutkittiin kaikilla reiteillä suuntakohtaisesti. HCT-yhdistelmien ohitukset kestivät keskimäärin 5,7–5,9 sekuntia, kun taas verrokkiyhdistelmien ohitukset kestivät keskimäärin 4,6–5,2 sekuntia. Kaikilla reiteillä todettiin HCT-yhdistelmien ohitusten keston keskiarvon eroavan tilastollisesti merkitsevästi verrokkiyhdistelmän ohitusten keskiarvosta.

Reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi ohitusten kestojen keskiarvot laskivat HCT-yhdistelmän tapauksessa keskimäärin 0,5 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa keskimäärin 0,3 sekuntia, kun tarkasteluihin otettiin mukaan ainoastaan henkilöautojen suorittamat ohitukset. Kahdella muulla reitillä keskiarvot eivät muuttuneet merkittävästi, kun tarkasteltiin vain henkilöautojen suorittamia ohituksia. Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi-reitillä ohitusten kestojen keskiarvot myös vaihtelivat suunnittain enemmän kuin kahdella muulla reitillä. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että Ivalon suuntaan yhdistelmät ajoivat tyhjänä, jolloin niiden nopeudet olivat suurempia kuin kuormattuna Rovaniemelle ajettaessa. Lisäksi verrokkiyhdistelmässä käytettiin pituudeltaan muuttuvaa perävaunua, mikä osaltaan vaikutti ohitusten kestoan. Ohituksissa käytettyjä nopeuksia tarkastellaan tarkemmin luvussa 6.4.

Keski- ja mediaaniarvojen lisäksi tarkasteltiin myös ohitusten kestojen keskihajonnan arvoja. Kaikilla reiteillä ohitusten keston keskihajonta oli suurempi HCT-yhdistelmien kuin verrokkiyhdistelmien ohituksissa. HCT-yhdistelmien ohitusten keskihajonnan arvo oli keskimäärin 1,7–1,9 sekuntia, kun taas verrokkiyhdistelmien ohitusten tapauk-

sessä keskihajonnan arvo oli keskimäärin 1,2–1,6 sekuntia. Kun tarkasteltiin vain henkilöautojen suorittamia ohituksia, keskihajonnan arvot olivat keskimäärin 0,2–0,3 sekuntia edellä mainittuja arvoja pienempiä.

6.3 Ohitusmatkan pituus

Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Ohitusten kestojen lisäksi tutkittiin sekä ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän että ohittavan ajoneuvon ohituksen aikana ajaman matkan pituutta. Ohitusmatkojen pituus laskettiin luvussa 5.4 esitetyllä tavalla. Ohitusmatkojen pituuksista lasketut keski- ja mediaaniarvot sekä pituuksien keskihajonnan arvot reitiltä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi on esitetty taulukossa 6.11.

Taulukko 6.11. Ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän ja ohittaneiden ajoneuvojen ohitusten aikana ajamien matkojen keskiarvoja, mediaaneja sekä keskihajonnan arvoja reitiltä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan keskiarvo [m]	132	108	110	102	118	104
Ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan mediaani [m]	128	107	108	101	114	102
Ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan keskihajonta [m]	39	36	39	30	40	32
Ohittajan ajaman matkan keskiarvo [m]	180	146	158	142	166	143
Ohittajan ajaman matkan mediaani [m]	176	147	156	140	162	141
Ohittajan ajaman matkan keskihajonta [m]	39	37	40	30	41	32

Taulukossa 6.11 esitetyistä luvuista havaitaan, että tyhjänä Ivaloon ajanut HCT-ajoneuvoyhdistelmä eteni ohitusten aikana keskimäärin 132 metriä vastaavan mediaaniarvon ollessa 128 metriä. Tyhjänä Ivaloon ajanut verrokkiyhdistelmä puolestaan eteni ohitusten aikana keskimäärin 108 metriä vastaavan mediaaniarvon ollessa 107 metriä. Tyhjä HCT-ajoneuvoyhdistelmä siis eteni ohitusten aikana hieman yli 20 metriä pidemmän matkan kuin tyhjä verrokkiyhdistelmä. Ero tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ajamien matkojen keskiarvoissa todettiin riippumattomien otosten t-testillä tilastollisesti erittäin merkitseväksi (riskitaso $p < 0,001$).

Ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikana etenemä matka oli kuormattuna merkittävästi lyhyempi kuin tyhjänä: kuormattu HCT-yhdistelmä eteni ohitusten aikana keskimäärin 110 metriä ja kuormattu verrokkiyhdistelmä keskimäärin 102 metriä. Vastaavat mediaaniarvot olivat HCT-ajoneuvoyhdistelmällä 108 metriä ja verrokkiyhdistelmällä 101 metriä. HCT-yhdistelmän tapauksessa ohituspituuksien keskiarvojen ero tyhjän ja kuormatun yhdistelmän välillä todettiin tilastollisesti erittäin merkitseväksi ($p < 0,001$), mutta verrokkiyhdistelmän tapauksessa keskiarvojen ero ei ole t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä. Kun vertaillaan kuormattujen yhdistelmien ohitusten aikana ajamia matkoja, nähdään, että kuormattu HCT-yhdistelmä eteni ohitusten aikana hieman alle 10 metriä pidemmän matkan kuin kuormattu verrokkiyhdistelmä. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien välillä eroa etenemismatkoissa on siis vähemmän kuin tyhjien yhdistelmien välillä, eikä keskiarvojen ero riippumattomien otosten t-testin mukaan ole tilastollisesti merkitsevä. Kuten ohitusaikojenkin tapauksessa, erojen kaventuminen johtuu verrokkiyhdistelmän perävaunun muuttuvasta pituudesta sekä ohituksissa käytetyistä nopeuksista, joita käsitellään tarkemmin luvussa 6.4. Taulukon 6.11 keskihajontalukuja verrattaessa nähdään, että HCT-yhdistelmän ohitusten aikana etenemän matkan pituuden keskihajonta on noin 40 metriä, mikä on hieman verrokkiyhdistelmän hajontaa suurempi. Lisäksi havaitaan, että HCT-yhdistelmän tapauksessa keskihajonta on yhtä suuri kuormattuna ja tyhjänä, kun taas verrokkiyhdistelmän tapauksessa hajonta on kuormattuna noin kuusi metriä pienempi kuin tyhjänä.

Ohittajan ohituksen aikana ajaman matkan pituus riippuu ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan pituudesta sekä ohitettavan ja ohittavan ajoneuvon pituuksista. Ohittajien etenemät matkat vertautuvat siis toisiinsa jotenkin samoin kuin ohitettavien ajoneuvojen etenemät matkat. Tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa ohittajat etenivät keskimäärin 180 metriä vastaavan mediaaniarvon ollessa 176 metriä. Tyhjää verrokkiyhdistelmää ohittaneet ajoneuvot etenivät puolestaan keskimäärin 146 metriä mediaaniarvon ollessa 147 metriä. Keskiarvojen ero tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa todettiin t-testillä tilastollisesti erittäin merkitseväksi ($p < 0,001$). Kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajat etenivät keskimäärin 158 metriä mediaaniarvon ollessa 156 metriä. Kuormatun verrokkiyhdistelmän ohittajat puolestaan etenivät ohitusten aikana keskimäärin 142 metriä vastaavan mediaaniarvon ollessa 140 metriä. Myös kuormattujen yhdistelmien tapauksessa ero ohittajien ajamissa matkoissa oli erittäin merkitsevä ($p < 0,001$). Tyhjää HCT-ajoneuvoyhdistelmää ohittaneet joutuivat ohittamaan noin 11 metriä pidemmän ajoneuvon kuin tyhjän verrokkiyhdistelmää ohittajat, kun kuormattujen yhdistelmien pituusero oli noin 8 metriä. Pienempi pituusero selittää osin sitä, miksi kuormattujen yhdistelmien ohituksissa ohituspituuksien ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä on pienempi kuin tyhjien yhdistelmien ohituksissa. Ohittajien ohitusten aikana kulkemaan matkaan vaikuttavat myös ohituksissa käytetyt nopeudet, joita käsitellään aliluvussa 6.4.

Kempele–Vantaa–Kempele

Ajoneuvoyhdistelmien sekä niiden ohittajien ohitusten aikana kulkemien matkojen keski- ja mediaaniarvot sekä ohitusmatkojen keskihajonnan arvot reitiltä Kempele–Vantaa–Kempele on esitetty taulukossa 6.12.

Taulukko 6.12. Ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän ja ohittaneiden ajoneuvojen ohitusten aikana ajamien matkojen keskiarvoja, mediaaneja sekä keskihajonnan arvoja reitiltä Kempele–Vantaa–Kempele.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan keskiarvo [m]	141	127	134	118	138	123
Ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan mediaani [m]	135	126	134	110	135	117
Ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan keskihajonta [m]	50	34	37	39	45	36
Ohittajan ajaman matkan keskiarvo [m]	191	167	184	159	188	164
Ohittajan ajaman matkan mediaani [m]	185	167	184	150	185	158
Ohittajan ajaman matkan keskihajonta [m]	51	35	37	40	46	37

Taulukossa 6.12 esitetyistä arvoista havaitaan, että HCT-yhdistelmä eteni ohitusten aikana keskimäärin 134–141 metriä, kun taas verrokkiyhdistelmän ohitusten aikana kulkema matka oli keskimäärin 118–127 metriä. Vastaavat mediaaniarvot ovat hieman edellä esitettyjä keskiarvoja pienempiä. Vantaalle ajettaessa HCT-yhdistelmä kulki ohitusten aikana keskimäärin 14 metriä pidemmän matkan kuin verrokkiyhdistelmä. Kempeleeseen ajettaessa HCT-yhdistelmän ohitusten aikana kulkema matka oli puolestaan keskimäärin 16 metriä verrokin ohitusten aikana kulkemaa matkaa pidempi. Kummassakin tarkastelusuunnassa HCT-yhdistelmän ohitusten aikana kulkema matka erosi tilastollisesti merkitsevästi verrokkiyhdistelmän ohitusten aikana kulkemasta matkasta (riskitaso $p < 0,01$). HCT-yhdistelmän ohitusten aikana kulkeman matkan keskihajonta oli Vantaalle ajettaessa 14 metriä suurempi kuin verrokkiyhdistelmän kul-

keman matkan keskihajonta. Vastakkaiseen suuntaan ajettaessa HCT-yhdistelmän ohitusten aikana kulkeman matkan keskihajonta oli kuitenkin 2 metriä pienempi kuin verrokkiyhdistelmän kulkeman matkan keskihajonta.

HCT-yhdistelmän ohittaneet ajoneuvot etenivät ohitusten aikana keskimäärin 184–191 metriä, kun taas verrokkiyhdistelmän ohittajat etenivät ohitusten aikana keskimäärin 159–167 metriä. Vastaavat mediaaniarvot olivat hieman edellä esitettyjä keskiarvoja pienempiä. HCT-yhdistelmää ohittaneet ajoneuvot siis ajoivat ohitusten aikana 24–25 metriä pidemmän matkan kuin verrokkiyhdistelmän ohittajat. Kummassakin tarkastelusuunnassa HCT-yhdistelmän ohittajien ohitusten aikana kulkema matka erosi tilastollisesti erittäin merkitsevästi verrokkiyhdistelmän ohittajien ohitusten aikana kulkemasta matkasta ($p < 0,001$). Ohittajien ohitusten aikana kulkemien matkojen keskihajonnat olivat suuntakohtaisesti tarkasteltuna jotakuinkin yhtä suuria kuin ohitettujen ajoneuvoyhdistelmien kulkemien matkojen keskihajonnat.

Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Ajoneuvoyhdistelmien sekä niiden ohittajien ohitusten aikana kulkemien matkojen keski- ja mediaaniarvot sekä ohitusmatkojen keskihajonnan arvot reitiltä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna on esitetty taulukossa 6.13.

Taulukko 6.13. Ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän ja ohittaneiden ajoneuvojen ohitusten aikana ajamien matkojen keskiarvoja, mediaaneja sekä keskihajonnan arvoja reitiltä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, Savonlinnaan	Verrokki, Savonlinnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan keskiarvo [m]	129	107	129	116	128	110
Ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan mediaani [m]	119	103	121	115	120	104
Ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan keskihajonta [m]	34	30	37	31	36	31
Ohittajan ajaman matkan keskiarvo [m]	175	148	173	156	173	149
Ohittajan ajaman matkan mediaani [m]	164	142	166	154	165	143
Ohittajan ajaman matkan keskihajonta [m]	34	30	38	31	36	31

Taulukosta 6.13 nähdään, että HCT-yhdistelmä eteni ohitusten aikana kummassakin tarkastelusuunnassa keskimäärin 129 metriä, kun verrokkiyhdistelmän ohitusten aikana etenemä matka oli keskimäärin 107–116 metriä. Vastaavat mediaaniarvot ovat 1–10 metriä edellä mainittuja keskiarvoja pienempiä. Lappeenrannan suuntaan ajettaessa HCT-yhdistelmä eteni ohitusten aikana keskimäärin 22 metriä pidemmän matkan kuin verrokkiyhdistelmä. Savonlinnan suuntaan ajettaessa HCT-yhdistelmä eteni ohitusten aikana keskimäärin 13 metriä verrokkiyhdistelmää pidemmän matkan. Kummassakin tarkastelusuunnassa HCT-yhdistelmän ohitusten aikana kulkema matka erosi tilastollisesti erittäin merkitsevästi verrokkiyhdistelmän ohitusten aikana kulkemasta matkasta (riskitaso $p < 0,001$). HCT-yhdistelmän ohitusten aikana kulkeman matkan keskihajonta oli Lappeenrannan suuntaan ajettaessa 4 metriä suurempi ja Savonlinnan suuntaan ajettaessa 6 metriä suurempi kuin verrokkiyhdistelmän kulkeman matkan keskihajonta.

HCT-yhdistelmän ohittaneet ajoneuvot etenivät ohitusten aikana keskimäärin 173–176 metriä, kun taas verrokkiyhdistelmän ohittajat etenivät ohitusten aikana keskimäärin 148–156 metriä. Vastaavat mediaaniarvot olivat jälleen hieman edellä esitettyjä keskiarvoja pienempiä. HCT-yhdistelmän ohittajat etenivät ohitusten aikana keskimäärin 17–27 metriä pidemmän matkan kuin verrokkiyhdistelmän ohittajat. Kummassakin tarkastelusuunnassa HCT-yhdistelmän ohittajien ohitusten aikana kulkema matka erosi tilastollisesti erittäin merkitsevästi verrokkiyhdistelmän ohittajien ohitusten aikana kulkemasta matkasta ($p < 0,001$). Ohittajien ohitusten aikana kulkemien matkojen keskihajonnat olivat suuntaakohtaisesti tarkasteltuna jotakuinkin yhtä suuria kuin ohitettujen ajoneuvoyhdistelmien kulkemien matkojen keskihajonnat.

Reitit yhdessä tarkasteltuna

Ohitusten kestojen sekä ohituksissa käytettyjen nopeuksien avulla tutkittiin, kuinka pitkiä matkoja ohitettavat ajoneuvoyhdistelmät sekä niitä ohittaneet ajoneuvot etenivät kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten aikana. HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikana kulkemat matkat olivat keskimäärin 118–138 metriä, kun taas verrokkiyhdistelmien ohitusten aikana kulkemat matkat olivat keskimäärin 104–123 metriä. HCT-yhdistelmät kulkivat ohitusten aikana reittikohtaisesti vertailtuna keskimäärin 14–18 metriä pidempiä matkoja kuin verrokkiyhdistelmät. Kullakin reitillä todettiin, että HCT-yhdistelmän ohitusten aikana kulkemien matkojen keskiarvo erosi tilastollisesti merkitsevästi verrokkiyhdistelmän ohitusten aikana kulkemien matkojen keskiarvosta. HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikana kulkemien matkojen keskihajonta oli keskimäärin 36–45 metriä, kun keskihajonta verrokkiyhdistelmien tapauksessa oli keskimäärin 31–36 metriä. Reittikohtaisesti vertailtuna keskihajonta oli HCT-yhdistelmien tapauksessa keskimäärin 5–9 metriä suurempi kuin verrokkiyhdistelmien tapauksessa.

Ajoneuvoyhdistelmien kulkemien matkojen lisäksi tutkittiin ohittajien ohitusten aikana kulkemien matkojen pituuksia. HCT-yhdistelmien ohittajien kulkema matka ohitusten aikana oli keskimäärin 166–188 metriä. Verrokkiyhdistelmän ohittajien kulkema matka ohitusten aikana oli puolestaan keskimäärin 143–164 metriä. HCT-yhdistelmää ohittaneet ajoneuvot kulkivat reittikohtaisesti vertailtuna keskimäärin 23–24 metriä pidempiä matkoja kuin verrokkiyhdistelmää ohittaneet ajoneuvot. Ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohittajien ohitusten aikana kulkemissa matkoissa todettiin kaikilla reiteillä tilastollisesti merkitseväksi. Ohittajien kulkemien matkojen keskihajonnat olivat jotakuinkin yhtä suuria kuin ajoneuvoyhdistelmien kulkemien matkojen keskihajonnat.

6.4 Ohitusnopeudet

Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Ohitusten kestoon vaikuttavat ohitettavan ja ohittavan ajoneuvon pituudet sekä ohitettavan ja ohittavan ajoneuvon nopeudet ohituksen aikana. Tässä aliluvussa käsitellään ensin ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia ohitusten aikana, sen jälkeen ohittajien nopeuksia ohitusten aikana ja lopuksi ohittajan ja ohitettavan ajoneuvon ohituksen aikaisten nopeuksien välistä erotusta.

Taulukossa 6.14 on kuvattu ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuksien keskihajonnan suuruutta reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi. Tunnuslukuja ei ole taulukoitu erikseen niistä ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto, sillä tunnusluvut olivat samoja tai lähes samoja kuin taulukossa 6.5 esitetyt.

Taulukko 6.14. Ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuksien keskihajonnan suuruus reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohitettavan ajoneuvon nopeuksien keskiarvo [km/h]	79,2	81,9	72,8	75,7	75,2	77,6
Ohitettavan ajoneuvon nopeuksien mediaani [km/h]	79,3	83,0	75,4	79,0	77,1	80,9
Ohitettavan ajoneuvon nopeuksien keskihajonta [km/h]	3,1	4,7	11,1	11,3	9,4	10,1

Taulukosta 6.14 voidaan havaita, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus ohitusten aikana oli tyhjänä Ivaloon ajettaessa keskimäärin noin 79 kilometriä tunnissa ja kuormattuna Rovaniemelle ajettaessa keskimäärin noin 73 kilometriä tunnissa. Lisäksi taulukosta nähdään, että verrokkiyhdistelmän keskinopeus ohitusten aikana oli kumpaankin suuntaan ajettaessa noin kolme kilometriä tunnissa suurempi kuin HCT-yhdistelmän. Sekä HCT-yhdistelmän että verrokkiyhdistelmän ohitusten aikaiset keskinopeudet olivat kuormattuna ajettaessa noin kuusi kilometriä tunnissa alhaisempia kuin tyhjänä ajettaessa. Keskiarvojen erojen tilastollista merkitsevyyttä tutkittiin riippumattomien otosten t-testillä. Testien avulla voitiin todeta, että kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa tyhjän yhdistelmän ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskiarvo erosi tilastollisesti erittäin merkitsevästi kuormatun yhdistelmän vastaa-

vasta keskiarvosta (riskitaso $p < 0,001$). Lisäksi havaittiin, että tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja tyhjän verrokkiyhdistelmän nopeuksien keskiarvot erosivat toisistaan tilastollisesti erittäin merkitsevästi. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskiarvon ero todettiin tilastollisesti merkitseväksi ($p < 0,01$).

Taulukkoon 6.14 on listattu myös ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskihajonnan arvoja. Niistä nähdään, että yhdistelmien ohitusten aikaiset nopeudet vaihtelivat kuormattuna merkittävästi enemmän kuin tyhjänä. Ajoneuvoyhdistelmien välillä ei keskihajonnassa kuitenkaan ole havaittavissa kovin suuria eroja; erityisesti kuormattuna ajoneuvoyhdistelmien nopeuksien keskihajonnat ovat lähes yhtä suuria. Taulukossa 6.15 on puolestaan esitetty ohittaneiden ajoneuvojen keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja ohitusten aikana sekä nopeuksien keskihajonnan suuruutta. Arvot on laskettu sekä kaikista kaksikaistaisilla teillä havaituista ohituksista että vain niistä kaksikaistaisilla teillä havaituista ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.

Taulukko 6.15. Ohittajien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuksien keskihajonnan suuruudet reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi. Kolmen ylimmän rivin arvot on laskettu kaikista kaksikaistaisilla tiealueilla havaituista ohituksista, ja kolmen alimman rivin arvot vain niistä ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohittajien nopeuksien keskiarvo [km/h], kaikki ohitukset	110,2	112,8	108,3	107,5	109,1	109,1
Ohittajien nopeuksien mediaani [km/h], kaikki ohitukset	108,7	110,8	109,6	108,8	109,2	109,1
Ohittajien nopeuksien keskihajonta [km/h], kaikki ohitukset	10,1	10,9	16,9	15,7	14,7	14,6
Ohittajien nopeuksien keskiarvo [km/h], ohittajana henkilöauto	112,0	115,0	111,3	108,1	111,6	110,4
Ohittajien nopeuksien mediaani [km/h], ohittajana henkilöauto	112,5	112,6	111,6	108,7	111,9	109,6
Ohittajien nopeuksien keskihajonta [km/h], ohittajana henkilöauto	9,8	10,8	17,2	14,1	14,8	13,4

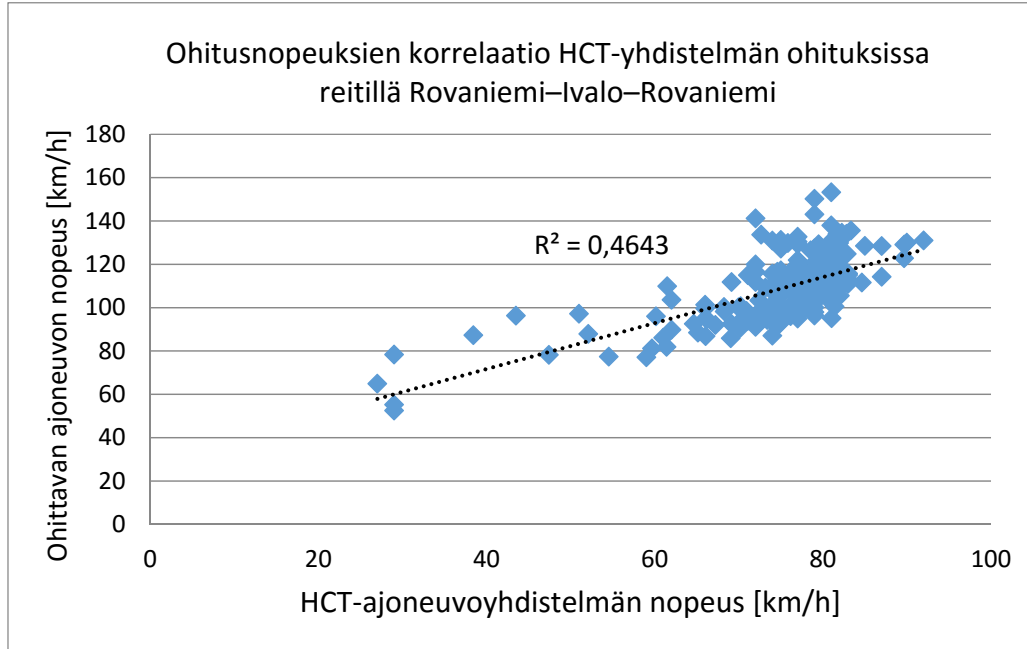
Taulukosta 6.15 nähdään, että Ivaloon tyhjänä ajaneen HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajat ajoivat ohitusten aikana keskimäärin noin 110 km/h keskinopeudella, kun taas tyhjää verrokkiyhdistelmää ohittaneiden ajoneuvojen ohitusten aikainen keskinopeus oli noin 113 km/h. Vastaavat keskinopeuksien mediaaniarvot ovat 1–2 km/h keskiarvoja alhaisempia. Kun otetaan huomioon ainoastaan henkilöautoilijoiden suorittamat tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohitukset, havaitaan, että keskinopeuksien keskiarvot ovat noin 2 km/h ja mediaaniarvot noin 2–4 km/h korkeampia. Rovaniemelle kuormattuna ajanut HCT-yhdistelmä ohitettiin vain hieman tyhjää HCT-yhdistelmää alhaisemmalla nopeudella: ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskiarvo on noin

108 km/h ja mediaaniarvo noin 110 km/h. Kuormatun HCT-yhdistelmän ohittaneiden henkilöautojen keskinopeuksien keskiarvo on puolestaan noin 111 km/h ja mediaaniarvo noin 112 km/h. Kuormattua verrokkiyhdistelmää ohittaneiden ajoneuvojen keskinopeudet laskivat sen sijaan merkittävästi tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksiin verrattuna: ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskiarvo on sekä kaikkien ajoneuvojen että vain henkilöautoilijoiden suorittamissa ohituksissa noin 108 km/h ja mediaaniarvo noin 109 km/h. Tyhjää HCT-yhdistelmää ohittaneiden ajoneuvojen nopeudet olivat siis hieman tyhjää verrokkiyhdistelmää ohittaneiden ajoneuvojen nopeuksia matalampia, kun taas kuormattua HCT-yhdistelmää ohittaneiden ajoneuvojen nopeudet olivat hieman kuormattua verrokkiä ohittaneiden ajoneuvojen nopeuksia suurempia. Edellä esitettyjen ohitusnopeuksien keskiarvojen välisten erojen tilastollista merkitsevyyttä tutkittiin riippumattomien otosten t-testillä. Testien mukaan havaitut erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä: ohittajien nopeudet eivät riippuneet tilastollisesti merkitsevästi siitä, oliko ohitettavana tyhjä vai kuormaamaton ajoneuvoyhdistelmä eikä siitä, oliko ohitettavana HCT- vai verrokkiyhdistelmä. Vaikka eroja ohittajien nopeuksien keskiarvoissa siis havaittiinkin, ne johtuivat testien mukaan verrattain suurella riskitasolla sattumasta.

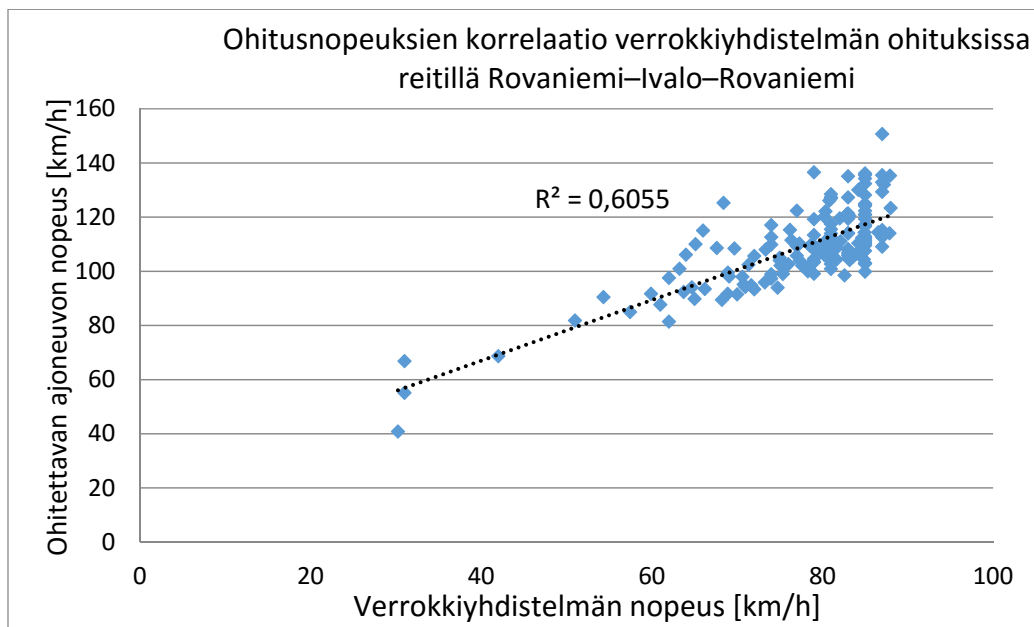
Ohittajien nopeuksien keskihajonnan arvoja vertailtaessa nähdään, että Ivalon suuntaan ajaneiden tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa keskihajonnassa ei ole juurikaan eroa ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien välillä. Rovaniemen suuntaan ajaneiden kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa ohittajien nopeuksien keskihajonta on merkittävästi suurempi kuin tyhjien yhdistelmien ohituksissa. Kuormattujen yhdistelmien ohituksissa nopeuksien keskihajonnassa voidaan myös havaita suurempi ero verrokkiyhdistelmän ja HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajien välillä kuin tyhjien yhdistelmien ohituksissa. Ero nähdään erityisesti vertailtaessa vain henkilöautojen suorittamia kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksia.

Taulukosta 6.14 nähtiin ajoneuvoyhdistelmien nopeuksien olleen kuormattuina merkittävästi alhaisempia kuin tyhjinä. Taulukosta 6.15 voidaan puolestaan nähdä, että myös ohittajien nopeudet olivat kuormattua verrokkiyhdistelmää ohitettaessa alhaisempia kuin tyhjää verrokkiyhdistelmää ohitettaessa. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajien nopeuksissa vastaavaa muutosta ei kuitenkaan nähdä; ohittajien nopeudet olivat kuormatun HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin lähes yhtä suuria kuin tyhjän HCT-yhdistelmän ohituksissa. Näyttääkin siltä, että ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän ja ohittavan ajoneuvon nopeuksilla on verrokkiyhdistelmän ohituksissa selvempi yhteys kuin HCT-yhdistelmän ohituksissa. Ohittajien ja ohitettavien ajoneuvojen ohitusten aikaisten nopeuksien riippuvuutta tutkittiin Pearsonin korrelaatiotarkastelujen avulla. Ohittajien ja ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio sekä HCT- että verrokkiyhdistelmän ohituksissa ja sekä tyhjien että kuormattujen yhdistelmien ohituksissa. Nopeuksien korrelaation havaittiin olevan selvästi voimakkaampi kuormattujen kuin tyhjien yhdistelmien ohituksissa. Lisäksi havaittiin, että nopeuksien korrelaatio on kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksissa selvästi voimakkaampi kuin kuormatun HCT-yhdistelmän ohituksissa. Tyhjien ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa nopeuksien korrelaatio oli HCT-yhdistelmän ohituksissa hieman verrokkiyhdistelmän ohituksissa havaittua suurempi. Ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän ja ohittavien ajoneuvojen nopeuksien välistä korrelaatiota on kuvattu graafisessa muodossa kuvissa 6.7 ja 6.8. Lisäksi taulukkoon 6.16 on listattu, kuinka suuri korrelaatiokertoimen r arvo oli kunkin ajoneuvoyhdistelmän ja sen ohittajien nopeuksien välillä. Taulukossa on ilmoitettu nopeuksien välinen selitysaste, joka

kuvaa sitä, kuinka suuren osan ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nopeus selittää ohittavan ajoneuvon nopeudesta. Selitysaste saadaan korottamalla korrelaatiokerroin r toiseen potenssiin. Prosenttiluvun saamiseksi on selitysaste kerrottava luvulla 100.



Kuva 6.7. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja sen ohittajien ohitusten aikaisten nopeuksien korrelaatio Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä.



Kuva 6.8. Verrokkiyhdistelmän ja sen ohittajien ohitusten aikaisten nopeuksien korrelaatio Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä.

Taulukko 6.16. Ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon nopeuksien korrelaatiokertoimien ja selityssasteiden arvoja reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohittajien ja ohitettavan ajoneuvon nopeuksien korrelaatiokerroin r	0,578	0,541	0,735	0,814	0,681	0,778
Selityssaste [%]	33,4	29,3	54,0	66,3	46,4	60,5

Ohitusten keston kannalta merkittävä tekijä on ohittajan ja ohitettavan välinen nopeusero. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa havaittujen nopeuserojen keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuserojen keskihajonnan arvoja on kuvattu taulukossa 6.17.

Taulukko 6.17. Ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon ohitusten aikaisten keskinopeuksien välisen erotuksen keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuseron keskihajonnan arvoja reitiltä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Nopeuseron keskiarvo [km/h], kaikki ohitukset	31,0	30,9	35,5	31,7	33,8	31,5
Nopeuseron mediaani [km/h], kaikki ohitukset	29,2	28,0	34,6	29,2	32,2	29,1
Nopeuseron keskihajonta [km/h], kaikki ohitukset	8,7	9,2	11,5	9,3	10,8	9,2
Nopeuseron keskiarvo [km/h], ohittajana henkilöauto	32,5	32,9	38,1	32,4	36,0	32,6
Nopeuseron mediaani [km/h], ohittajana henkilöauto	32,0	31,0	35,9	30,0	34,6	30,7
Nopeuseron keskihajonta [km/h], ohittajana henkilöauto	8,4	9,0	11,5	9,1	10,8	9,1

Taulukosta 6.17 havaitaan, että ohittavan ajoneuvon ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän välisen nopeuseron keskiarvo oli yhtä suuri Ivaloon ajaneiden tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa; noin 31 km/h. Nopeuseron mediaaniarvot olivat hieman alhaisempia, tyhjän HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 29 km/h ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 28 km/h. Kun tarkastellaan vain henkilöautoilijoiden suorittamia tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksia, nousevat nopeuseron keskiarvot kummankin yhdistelmän ohituksissa noin 33 kilometriin tunnissa ja mediaaniarvot HCT-yhdistelmän ohituksissa 32 kilometriin tunnissa ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 31 kilometriin tunnissa. Voidaan siis sanoa, että tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon välisessä nopeuserossa ei havaittu suurta eroa HCT-yhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän ohitusten välillä. Myös riippumattomien otosten t-testi osoitti, ettei nopeuserossa ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

Kun tarkastellaan Rovaniemen suuntaan ajaneiden kuormattujen yhdistelmien ohituksissa havaittuja nopeuseroja, havaitaan, että erot HCT-yhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän ohitusten välillä ovat huomattavasti suurempia kuin tyhjien yhdistelmien väliset erot. Kuormattua HCT-yhdistelmää ohitettaessa ohittavan ajoneuvon nopeus oli keskimäärin 36 km/h ohitettavaa yhdistelmää suurempi, kun taas verrokkiyhdistelmän ohituksissa keskimääräinen nopeusero oli noin 32 km/h. Vastaavat mediaaniarvot olivat HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 35 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 29 km/h, joten nopeuserojen mediaaniarvot eroavat toisistaan nopeuserojen keskiarvoja enemmän. Kun tarkastellaan vain henkilöautoilijoiden suorittamia ohituksia, havaitaan, että ohittajan ja ohitettavan ajoneuvon väliset nopeuserot ovat hieman suurempia kuin kaikkien ajoneuvotyyppien suorittamista ohituksista lasketut nopeuserot. Henkilöautot ohittivat kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskimäärin 38 km/h HCT-yhdistelmää suuremmalla nopeudella. Nopeuserojen mediaaniarvo oli hieman alhaisempi, noin 36 km/h. Henkilöautot ohittivat kuormatun verrokkiyhdistelmän selvästi alhaisemmalla nopeudella: keskimääräinen nopeusero oli noin 32 km/h ja nopeuserojen mediaaniarvo noin 30 km/h. Riippumattomien otosten t-testin avulla todettiin, että kuormattujen yhdistelmien tapauksessa ohitusten nopeuserojen keskiarvon ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$).

Taulukosta 6.17 nähdään lisäksi, että kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa nopeusero oli merkittävästi suurempi kuin tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa. Vastaavaa eroa ei kuitenkaan nähdä, kun verrataan nopeuseroja tyhjän ja kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Kuvissa 6.7 ja 6.8 ja taulukossa 6.16 esitetty havainto siitä, että verrokkiyhdistelmän ohittajien nopeudet korreloivat voimakkaammin ohitettavan yhdistelmän nopeuden kanssa kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajien nopeudet, voidaan siis nähdä myös nopeuseroissa: nopeuserot kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa ovat suuria, koska ohittajien nopeudet eivät merkittävästi laskeneet, vaikka ohitettavan yhdistelmän nopeus oli selvästi alhaisempi kuin tyhjänä.

Tässä aliluvussa esitetyt luvut ohittavien ja ohitettavien ajoneuvojen nopeuksista ja nopeuseroista ohitusten aikana selittävät osittain aliluvussa 6.2 esitettyjä havaintoja ohitusten kestoihin liittyen. Kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitukset ovat keskimäärin noin 0,5 sekuntia lyhytkestoisempia kuin tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitukset, koska ajoneuvojen välinen nopeusero on kuormattua HCT-ajoneuvoyhdistelmää ohitettaessa keskimäärin suurempi kuin tyhjää HCT-ajoneuvoyhdistelmää ohitettaessa. Myös kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksissa ohittajan ja ohitettavan välinen nopeusero havaittiin hieman suuremmaksi kuin tyhjän verrokkiyhdistelmän

ohituksissa. Tämä ei kuitenkaan näkynyt taulukossa 6.9 esitetyissä ohitusten kestoa kuvaavissa arvoissa, sillä verrokkiyhdistelmä oli jatkettavan perävaunun vuoksi kuormattuna noin kolme metriä pidempi kuin tyhjänä. Ohitettavan verrokkiyhdistelmän kasvanut pituus siis käytännössä kumosi hieman suuremman nopeuseron vaikutuksen.

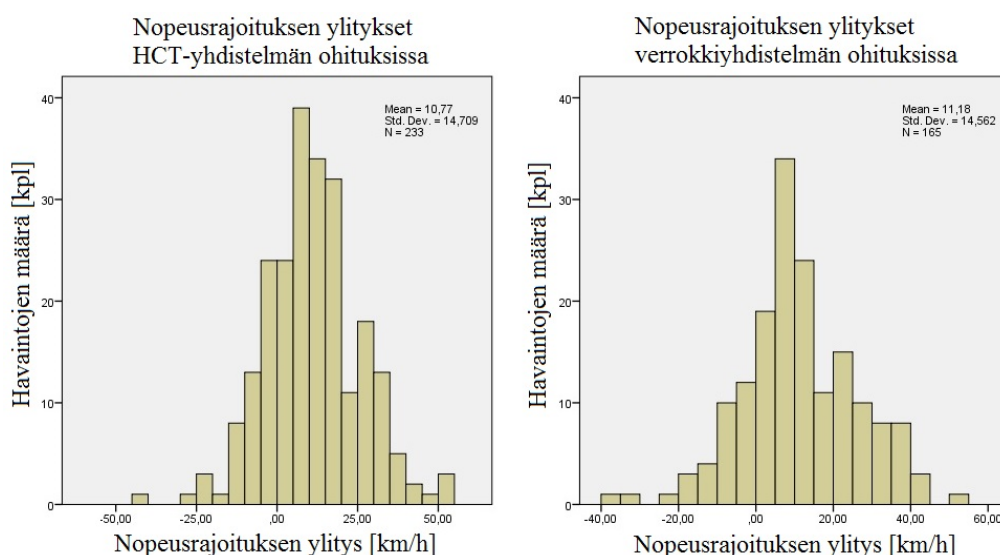
Ohitettavien ja ohittavien ajoneuvojen nopeuksien ja nopeuseron lisäksi tutkittiin ohittajien ohitusten aikaisen keskinopeuden ja ohituspaikalla vallitsevan nopeusrajoituksen erotusta. Valtaosa kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista tapahtui alueilla, joilla nopeusrajoitus oli 100 km/h: HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista noin 8,6 % tapahtui 80 km/h -nopeusrajoitusalueella ja loput 100 km/h -nopeusrajoitusalueella. Vastaavasti verrokkiyhdistelmän ohituksista 9,1 % tapahtui alueilla, joilla nopeusrajoitus oli 80 km/h ja loput alueilla, joilla nopeusrajoitus oli 100 km/h. Ohituksia tutkittiin sekä kesä- että talvinopeusrajoitusten voimassaoloajalta kertyneestä materiaalista. Koska suurimmalla osalla Ketosen Kuljetus Oy:n ajoneuvojen reitistä nopeusrajoitusta ei lasketa talvella arvosta 100 km/h arvoon 80 km/h, ei nopeusrajoituksen ylityksiä verrattu erikseen talvi- ja kesänopeusrajoitusten aikoina. Taulukossa 6.18 on kuvattu ohittajien käyttämän nopeuden ja nopeusrajoituksen osoittaman nopeuden välisen erotuksen keski- ja mediaaniarvoja sekä erotuksen keskihajonnan arvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa. Kolmen alimman rivin luvut on laskettu vain niistä ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.

Taulukko 6.18. Ohittaneiden ajoneuvojen ja ohituspaikalla vallitsevan nopeusrajoituksen välisen erotuksen keski- ja mediaaniarvoja kaksikaistaisilla tiealueilla havaituissa ohituksissa reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskiarvo [km/h], kaikki ohitukset	11,3	15,1	10,4	9,4	10,8	11,1
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen mediaani [km/h], kaikki ohitukset	9,3	12,0	10,6	9,2	10,3	9,6
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskihajonta [km/h], kaikki ohitukset	11,3	12,4	16,5	15,1	14,7	14,5
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskiarvo [km/h], ohittajana henkilöauto	13,2	17,4	13,1	9,8	13,2	12,4
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen mediaani [km/h], ohittajana henkilöauto	13,0	14,0	12,6	9,1	12,9	10,5
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskihajonta [km/h], ohittajana henkilöauto	11,1	12,4	17,0	14,7	15,0	14,4

Taulukossa 6.18 esitetyistä arvoista havaitaan, että ohittavien ajoneuvojen keskinopeudet ohitusten aikana ovat keskiarvoltaan 9–15 km/h ohituspaikalla vallinnutta nopeusrajoitusta korkeampia. Kun verrataan Ivaloon ajaneiden tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksia, havaitaan, että verrokkiyhdistelmän ohituksissa nopeusrajoituksen ylitykset ovat keskimäärin suurempia kuin HCT-yhdistelmän ohituksissa. Sama ilmiö havaitaan, kun tarkastellaan vain niitä ohituksia, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto. Ero nopeusrajoitusten ylitysten keskiarvoissa tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten välillä ei kuitenkaan ole t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä. Rovaniemen suuntaan ajaneiden kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksia kuvaavista luvuista havaitaan, että HCT-yhdistelmän ohituksissa nopeusrajoituksen ylitykset ovat hieman suurempia kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Tässäkään tapauksessa ero ei kuitenkaan ole riippumattomien otosten t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä. Lisäksi taulukon 6.18 arvoista havaitaan, että nopeusrajoituksen ylityksissä ei ole suurta eroa tyhjän ja kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa. Sen sijaan verrokkiyhdistelmän ohituksia kuvaavista luvuista nähdään, että kuormattua verrokkiä ohitettaessa nopeusrajoituksen ylitykset ovat keskimäärin huomattavasti pienempiä kuin tyhjää verrokkiä ohitettaessa. Ero havaittiin myös tilastollisesti merkitseväksi riippumattomien otosten t-testillä ($p < 0,05$).

Taulukon 6.18 perusteella voidaan sanoa, että ajoneuvoyhdistelmiä ohittavien ajoneuvojen nopeudet ohitusten aikana olivat pääsääntöisesti nopeusrajoituksen osoittamaa suurinta sallittua nopeutta suurempia. Tämä nähdään myös kuvasta 6.9, jossa on kuvattu ohittavien ajoneuvojen nopeuksien ja nopeusrajoituksen osoittaman nopeuden välistä erotusta kaikissa kaksikaistaisilla tiealueilla havaituissa ohituksissa. Sellaisia ohituksia, joissa ohittajan keskinopeus ohituksen aikana oli korkeintaan nopeusrajoituksen osoittaman nopeuden suuruinen, oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista noin 22 % ja verrokkiyhdistelmän ohituksista noin 19 %. Ohittajien suurimmat havaitut ylinopeudet olivat molempien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa noin 50 km/h.



Kuva 6.8. Ohittajien nopeuden ja nopeusrajoituksen osoittaman nopeuden erotuksen frekvenssijakaumista nähdään, että nopeusrajoituksen ylitykset olivat reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi hyvin yleisiä sekä HCT-ajoneuvoyhdistelmän että verrokkiyhdistelmän ohituksissa.

Kempele–Vantaa–Kempele

Taulukossa 6.19 on kuvattu ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuksien keskihajonnan suuruutta reitillä Kempele–Vantaa–Kempele havaituissa kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa.

Taulukko 6.19. Ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuksien keskihajonnan suuruus reitillä Kempele–Vantaa–Kempele havaituissa kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempele	Verrokki, Kempele	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohitettavan ajoneuvon nopeuksien keskiarvo [km/h]	82,6	84,0	82,1	81,4	82,4	83,0
Ohitettavan ajoneuvon nopeuksien mediaani [km/h]	84,0	85,0	83,0	81,9	83,6	83,0
Ohitettavan ajoneuvon nopeuksien keskihajonta [km/h]	6,5	2,1	5,9	4,6	6,3	3,5

Taulukosta 6.19 nähdään, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus ohitusten aikana oli Vantaalle ajettaessa noin 83 km/h ja Kempeleeseen ajettaessa noin 82 km/h. Verrokkiyhdistelmän keskinopeus ohitusten aikana oli Vantaalle ajettaessa noin 84 km/h ja Kempeleeseen ajettaessa noin 81 km/h. Kummankin yhdistelmän tapauksessa ohitusten aikaisten keskinopeuksien mediaaniarvot ovat noin 1 km/h suurempia kuin edellä mainitut arvot. Kun tarkastellaan molempia suuntia yhteensä kuvaavia lukuja, nähdään, ettei ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaisissa nopeuksissa ole merkittäviä eroja. Ajoneuvoyhdistelmien nopeuksien eroja tutkittiin myös riippumattomien otosten t-testillä, jonka avulla nähtiin, etteivät HCT-yhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän ohitusten aikaisten keskinopeudet eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi kummassakaan tarkastelusuunnassa. T-testi kuitenkin osoitti, että verrokkiyhdistelmän ohitusten aikaisten keskinopeudet Vantaalle ajettaessa erosivat tilastollisesti erittäin merkitsevästi keskinopeuksista Kempeleeseen ajettaessa (riskitaso $p < 0,001$). Vastaavaa suuntien välistä eroa ei havaittu HCT-yhdistelmän nopeuksissa.

Taulukkoon 6.19 on listattu myös ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaisten nopeuksien keskihajontojen arvoja. Taulukosta havaitaan, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitusten aikaisten nopeuksien keskihajonta on verrokkiyhdistelmän nopeuksien keskihajontaa suurempi. Vantaalle ajettaessa HCT-yhdistelmän nopeuksien keskihajonta on 6,5 km/h eli 4,4 km/h verrokkiyhdistelmän keskihajontaa suurempi, kun taas Kempeleen suuntaan ajettaessa HCT-yhdistelmän nopeuksien keskihajonta on 5,9 km/h eli 1,3 km/h verrokkiyhdistelmän nopeuksien keskihajontaa suurempi. Taulukossa 6.20 on

puolestaan esitetty ohittajien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä keskihajonnan arvoja. Luvut on laskettu sekä kaikista kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista että vain niistä kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista, joissa ohittajana oli henkilöauto.

Taulukko 6.20. Ohittajien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuksien keskihajonnan suuruus reitillä Kempele–Vantaa–Kempele. Kolmen ylimmän rivin arvot on laskettu kaikista kaksikaistaisilla tiealueilla havaituista ohituksista ja kolmen alimman rivin arvot vain niistä ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohittajien nopeuksien keskiarvo [km/h], kaikki ohitukset	114,8	113,7	115,0	111,6	114,9	112,9
Ohittajien nopeuksien mediaani [km/h], kaikki ohitukset	114,0	111,7	113,4	111,9	113,7	111,8
Ohittajien nopeuksien keskihajonta [km/h], kaikki ohitukset	12,4	9,3	10,9	11,4	11,8	10,2
Ohittajien nopeuksien keskiarvo [km/h], ohittajana henkilöauto	114,9	114,2	114,9	112,3	114,9	113,5
Ohittajien nopeuksien mediaani [km/h], ohittajana henkilöauto	113,9	111,9	113,3	112,1	113,5	111,9
Ohittajien nopeuksien keskihajonta [km/h], ohittajana henkilöauto	12,5	9,5	11,2	11,8	12,0	10,4

Taulukosta 6.20 nähdään, että HCT-yhdistelmän ohittajien ohitusten aikaisten nopeuksien keskiarvo oli kumpaankin suuntaan ajettaessa noin 115 km/h. Verrokkiyhdistelmän ohittajien ohitusten aikaisten nopeuksien keskiarvo oli hieman alhaisempi; Vantaalle ajettaessa noin 114 km/h ja Kempeleeseen ajettaessa noin 112 km/h. Ohittajien ohitusten aikaisten nopeuksien mediaanit olivat pääsääntöisesti 1–2 km/h edellä esitettyjä keskiarvoja matalampia. Ohitusten aikaisten nopeuksien keskiarvoissa, mediaaniarvoissa ja keskihajonnan arvoissa ei havaita merkittävää eroa, kun vertaillaan kaikkia kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneita ohituksia sekä vain niitä ohituksia, joissa ohittajana oli henkilöauto.

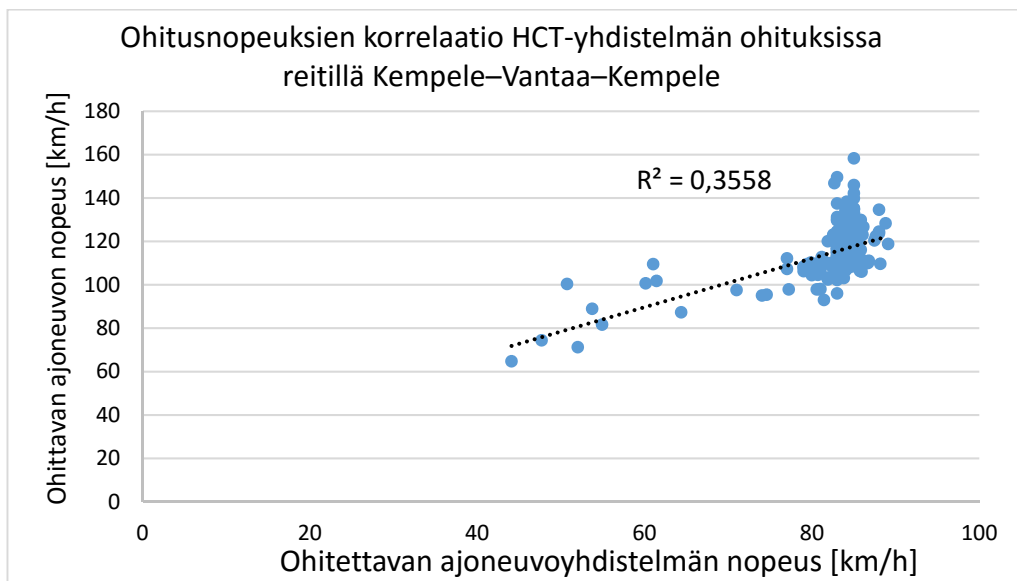
Riippumattomien otosten t-testillä tutkittiin, erosivatko ohittajien käyttämät nopeudet toisistaan HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Testi osoitti, että kummassakaan tarkastelusuunnassa ohittajien nopeuksien keskiarvot eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Tälläkään reitillä ohittajien nopeudet eivät siis riippuneet tilastollisesti merkitsevästi siitä, oliko ohitettavana HCT- vai verrokkiyhdistelmä. Ohittajien nopeuksien keskiarvot eivät myöskään eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi, kun verrattiin HCT-yhdistelmän ohituksia suunnittain sekä verrokkiyhdistelmän ohituksia suunnittain.

Taulukon 6.19 arvoja tarkasteltaessa havaittiin, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitusten aikaisten nopeuksien keskihajonta oli verrokkiyhdistelmän nopeuksien keskihajontaa suurempi erityisesti Vantaan suuntaan ajetuilla matkoilla. Ohittajien nopeuksien keskihajontoja tarkasteltaessa nähdään, että Kempeleen suuntaan ajetuilla matkoilla keskihajonnat ovat lähes yhtä suuria, mutta Vantaan suuntaan ajetuilla matkoilla HCT-yhdistelmän ohittajien nopeuksien keskihajonta oli 12,4 km/h eli noin 3 km/h suurempi, kuin verrokkiyhdistelmän ohittajilla. Ohittajien nopeuksien keskihajonnat ovat myös merkittävästi ajoneuvoyhdistelmien nopeuksien keskihajontoja suurempia.

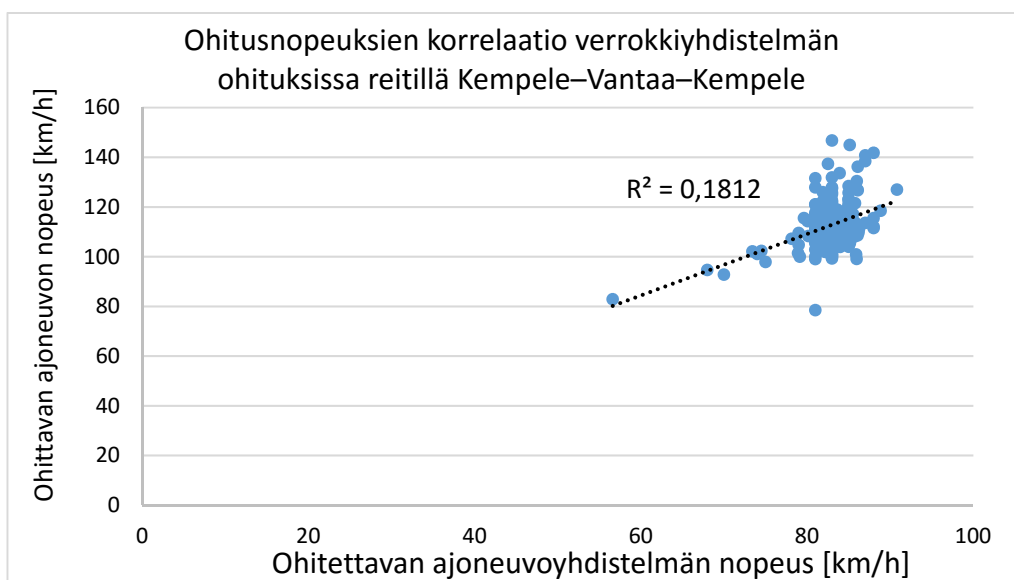
Kummaltakin ajoneuvoyhdistelmältä analysoitiin viisi kesänopeusrajoitusten voimassaolon aikana tehtyä yhdensuuntaista matkaa ja viisi talvikaudella tehtyä yhdensuuntaista matkaa. Valtaosa ohitushavainnoista tehtiin kuitenkin kesäkaudella tehdyillä matkoilla kerätystä matkoista: HCT-yhdistelmän ohituksista 81,4 % ja verrokkiyhdistelmän ohituksista 83,7 % tapahtui kesänopeusrajoitusten voimassaollessa. HCT-yhdistelmän ohittajien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskiarvo oli kesäkaudella tehdyissä ohituksissa 115,4 km/h ja talvikaudella tehdyissä ohituksissa 112,9 km/h. Verrokkiyhdistelmän ohittajien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskiarvo oli puolestaan kesäkaudella tehdyissä ohituksissa 112,8 km/h ja talvikaudella tehdyissä ohituksissa 113,5 km/h. Kummankaan yhdistelmän tapauksessa ohittajien nopeuksien keskiarvot kesä- ja talviaikana tehdyissä ohituksissa eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Näyttää siis siltä, että vuodenajalla ei ollut kovin merkittävää vaikutusta ohittajien käyttämiin nopeuksiin. Toisaalta täytyy huomioida, että ohitusaineisto talvikaudelta on varsin rajallinen.

Ohittajien ja ohitettavien ajoneuvojen ohitusten aikaisten nopeuksien välistä riippuvuutta tutkittiin Pearsonin korrelaatiotarkastelujen avulla. Molempien yhdistelmien ohituksissa ohittajien ja ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien nopeuksien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio molemmissa tarkastelusuunnissa. Vantaalle ajettaessa korrelaatio oli HCT-yhdistelmän ohituksissa merkittävästi suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Kempeleeseen ajettaessa korrelaation suuruudessa ei ollut kovin suurta eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä. Kun yhdistetään suuntakohtaiset havainnot ohituksissa käytetyistä nopeuksista, nähdään, että HCT-

yhdistelmän ohituksissa ohittajan nopeuden ja ohitettavan ajoneuvon nopeuden korrelaatio oli hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa; HCT-yhdistelmän nopeus selitti noin 60 % ohittajien nopeudesta, kun vastaava luku verrokkiyhdistelmälle on noin 43 %. Ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän ja ohittavien ajoneuvojen nopeuksien välistä korrelaatiota on kuvattu kuvissa 6.9 ja 6.10. Lisäksi taulukkoon 6.21 on listattu, kuinka suuri korrelaatiokertoimen r arvo oli kunkin ajoneuvoyhdistelmän ja sen ohittajien nopeuksien välillä. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu, kuinka monta prosenttia ohittajan nopeudesta voidaan selittää ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nopeudella.



Kuva 6.9. HCT-yhdistelmän ja sen ohittajien ohitusten aikaisten nopeuksien korrelaatio Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä.



Kuva 6.10. Verrokkiyhdistelmän ja sen ohittajien ohitusten aikaisten nopeuksien korrelaatio Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä.

Taulukko 6.21. Ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon nopeuksien korrelaatiokertoimien ja selitysasteiden arvoja.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohittajien ja ohitettavan ajoneuvon nopeuksien korrelaatiokerroin r	0,661	0,305	0,484	0,521	0,596	0,426
Selitysaste [%]	43,7	9,3	23,4	27,2	35,6	18,1

Ohitusten keston kannalta merkittävä tekijä on ohittajan ja ohitettavan ajoneuvon välinen nopeusero. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa havaittujen nopeuserojen keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuserojen keskihajonnan arvoja reitiltä Kempele–Vantaa–Kempele on kuvattu taulukossa 6.22. Arvot on laskettu sekä kaikista kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista että vain niistä ohituksista, joissa ohittajana oli henkilöauto.

Taulukko 6.22. Ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon ohitusten aikaisten keskinopeuksien välisen erotuksen keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuseron keskihajonnan arvoja. Kolmen ylimmän rivin arvot on laskettu kaikista kaksikaistaisilla tiealueilla havaituista ohituksista ja kolmen alimman rivin arvot vain niistä ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Nopeuseron keskiarvo [km/h], kaikki ohitukset	32,2	29,6	32,9	30,2	32,5	29,9
Nopeuseron mediaani [km/h], kaikki ohitukset	30,4	27,5	30,3	29,2	30,4	28,5
Nopeuseron keskihajonta [km/h], kaikki ohitukset	9,4	8,8	9,6	9,9	9,5	9,3
Nopeuseron keskiarvo [km/h], ohittajana henkilöauto	32,4	30,0	32,4	31,2	32,4	30,5
Nopeuseron mediaani [km/h], ohittaja hlöauto	30,4	27,8	29,8	29,6	30,0	28,8
Nopeuseron keskihajonta [km/h], ohittaja hlöauto	9,3	9,1	9,7	9,8	9,5	9,4

Taulukosta 6.22 nähdään, että ohittajan ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän välisen nopeuseron keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin 32,5 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa keskimäärin 29,9 km/h. Nopeusero oli HCT-yhdistelmän ohituksissa 2,6–2,7 km/h suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Riippumattomien otosten t-testi kuitenkin osoitti, etteivät nopeuseron keskiarvot eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

Nopeuseron mediaaniarvot olivat puolestaan keskimäärin 1–2 km/h alhaisempia kuin edellä esitetyt nopeuseron keskiarvot. Nopeuseron keskihajonta oli HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin 9,5 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa keskimäärin 9,3 km/h, eikä keskihajonnassa ole suuria ajoneuvoyhdistelmien välisiä eroja myöskään suunnittain tarkasteltuna. Kun nopeuseron keskiarvot, mediaanit ja keskihajonnan arvot lasketaan huomioiden vain henkilöautojen suorittamat ohitukset, eivät arvot merkittävästi muutu edellä esitetyistä.

Ohittajan ja ohitettavan ajoneuvon välisen nopeuseron lisäksi tutkittiin ohittajan ohituksen aikaisen nopeuden sekä nopeusrajoituksen osoittaman suurimman sallitun nopeuden välistä erotusta. 89,0 % HCT-yhdistelmän kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista tapahtui 100 km/h -nopeusrajoitusalueella, kun vastaava luku verrokkiyhdistelmän tapauksessa oli 89,9 %. Yksi HCT-yhdistelmän ohituksista tapahtui 60 km/h -nopeusrajoitusalueella, ja loput ohitukset 80 km/h -nopeusrajoitusalueella. Taulukossa 6.23 on esitetty ohittajien käyttämän nopeuden ja nopeusrajoituksen osoittaman nopeuden välisen erotuksen keski- ja mediaaniarvoja sekä keskihajonnan arvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa. Luvut on laskettu erikseen kaikista ohituksista sekä niistä ohituksista, joissa ohittajana oli henkilöauto.

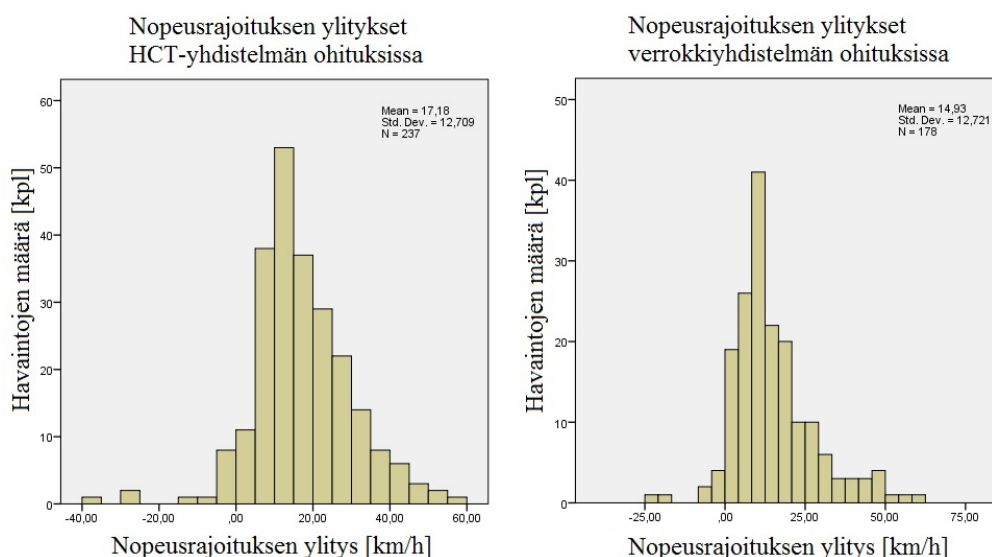
Taulukko 6.23. Ohittaneiden ajoneuvojen ja ohituspaikalla vallitsevan nopeusrajoituksen välisen erotuksen keski- ja mediaaniarvoja kaksikaistaisilla tiealueilla havaituissa ohituksissa reitiltä Kempele–Vantaa–Kempele.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskiarvo [km/h], kaikki ohitukset	17,3	15,8	17,1	13,5	17,2	14,9
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen mediaani [km/h], kaikki ohitukset	16,2	12,2	14,3	12,2	15,6	12,2
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskihajonta [km/h], kaikki ohitukset	13,3	11,9	11,7	13,7	12,7	12,7
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskiarvo [km/h], ohittajana henkilöauto	17,5	16,4	16,6	14,0	17,2	15,5
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen mediaani [km/h], ohittajana henkilöauto	16,3	12,5	13,7	12,2	15,0	12,4
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskihajonta [km/h], ohittajana henkilöauto	13,5	12,2	11,7	14,0	12,8	13,0

Taulukosta 6.23 havaitaan, että ohittajien nopeudet olivat noin 14–18 km/h ohituspaikalla vallinnutta nopeusrajoitusta suurempia. HCT-yhdistelmän ohituksissa ohittajien nopeuden ja nopeusrajoituksen välinen erotus oli 1,5–3,6 km/h suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Riippumattomien otosten t-testi kuitenkin osoitti, etteivät nopeusrajoituksen ylitysten suuruudet HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Kun tarkastellaan vain niitä ohituksia, joissa ohittajana oli henkilöauto, ovat nopeusrajoituksen ylitykset pääsääntöisesti hieman edellä esiteltyjä arvoja suurempia, mutta erot eivät ole merkittäviä.

Kuten aiemmin todettiin, yli 80 % kummankin yhdistelmän ohitushavainnoista tehtiin kesänopeusrajoitusten voimassaolon ajalta. Talvikaudella tehdyistä ohituksista suurempi osa suoritettiin 80 km/h -nopeusrajoitusalueella. Taulukon 6.20 yhteydessä kuitenkin todettiin, etteivät ohittajien käyttämät nopeudet kesä- ja talvikaudella eronneet merkittävästi toisistaan. Tilastollisessa tarkastelussa huomattiinkin, että talvikaudella tehdyissä ohituksissa nopeusrajoituksen ylitykset olivat keskimäärin suurempia. HCT-yhdistelmän ohittajien nopeusrajoituksen ylityksen keskiarvo oli kesäkaudella suoritetuissa ohituksissa 15,9 km/h ja talvikaudella suoritetuissa ohituksissa 22,9 km/h. Vastaavat luvut verrokkiyhdistelmälle olivat 12,9 km/h kesäkaudella ja 25,2 km/h talvikaudella. Riippumattomien otosten t-testi osoitti, että kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa nopeusrajoituksen ylityksen keskiarvot kesä- ja talvikaudella suoritetuissa ohituksissa erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

Yleisesti ottaen taulukon 6.23 arvot osoittavat, että nopeusrajoituksen ylitykset ohituksen aikana olivat hyvin yleisiä myös Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä. Kuvassa 6.11 on kuvattu ohittajien nopeuden ja nopeusrajoituksen osoittaman nopeuden erotuksen frekvenssijakaumat HCT- ja verrokkiyhdistelmän kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa reitillä Kempele–Vantaa–Kempele. Sellaisia ohituksia, joissa ohittajan keskinopeus ohituksen aikana oli korkeintaan nopeusrajoituksen osoittaman nopeuden suuruinen, oli kummankin yhdistelmän ohituksista noin 6 %.



Kuva 6.11. Ohittajien nopeuden ja nopeusrajoituksen osoittaman nopeuden erotuksen frekvenssijakauma reitiltä Kempele–Vantaa–Kempele. Nopeusrajoituksen ylitykset olivat hyvin yleisiä, mutta niiden määrässä tai suuruudessa ei ole merkittävää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä. Talvikaudella nopeusrajoituksen ylitykset havaittiin kesäkautta suuremmiksi.

Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Taulukossa 6.24 on kuvattu ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuksien keskihajonnan suuruutta tavallisilla kaksikaistaisilla teillä havaituissa ohituksissa reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Taulukko 6.24. Ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuksien keskihajonnan suuruus tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:linnaan	Verrokki, S:linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohitettavan ajoneuvon nopeuksien keskiarvo [km/h]	78,7	84,5	78,1	85,7	78,4	84,9
Ohitettavan ajoneuvon nopeuksien mediaani [km/h]	81,8	85,6	80,3	85,5	81,3	85,6
Ohitettavan ajoneuvon nopeuksien keskihajonta [km/h]	9,5	5,2	7,1	3,7	8,3	4,8

Taulukosta 6.24 havaitaan, että HCT-yhdistelmän keskinopeus ohitusten aikana on ollut Lappeenrantaan ajetuilla matkoilla noin 79 km/h ja Savonlinnaan ajetuilla matkoilla noin 78 km/h. Verrokkiyhdistelmän ohitusten aikaiset keskinopeudet olivat sen sijaan merkittävästi suurempia: Lappeenrannan suuntaan ajetuilla matkoilla noin 85 km/h ja Savonlinnan suuntaan ajetuilla matkoilla noin 86 km/h. Ajoneuvoyhdistelmien väliset erot ohitusten aikaisissa keskinopeuksissa todettiin myös riippumattomien otosten t-testillä tilastollisesti erittäin merkitseviksi ($p < 0,001$). Ohitusten aikaisten keskinopeuksien mediaaniarvot olivat pääsääntöisesti 1–2 km/h edellä mainittuja keskiarvoja suurempia.

Ohitusten aikaisten nopeuksien keskihajonta oli HCT-yhdistelmän ohituksissa suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa: keskihajonnan arvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa Lappeenrantaan ajetuilla matkoilla noin 10 km/h eli noin 5 km/h suurempi kuin verrokkiyhdistelmällä, ja Savonlinnaan ajetuilla matkoilla noin 7 km/h eli noin 3 km/h suurempi kuin verrokkiyhdistelmällä. Taulukossa 6.25 on puolestaan esitetty ohittajien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä keskihajonnan arvoja tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa. Arvot on laskettu sekä kaikista ohituksista että vain niistä ohituksista, joissa ohittajana oli henkilöauto.

Taulukko 6.25. Ohittavien ajoneuvojen ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuksien keskihajonnan suuruudet. Kolmen ylimmän rivin arvot on laskettu kaikista kaksikaistaisilla tiealueilla havaituista ohituksista, ja kolmen alimman rivin arvot vain niistä ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, Savon-linnaan	Verrokki, Savon-linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohittajien nopeuksien keskiarvo [km/h], kaikki ohitukset	110,8	118,1	108,0	117,4	109,3	117,9
Ohittajien nopeuksien mediaani [km/h], kaikki ohitukset	110,2	116,9	107,8	117,7	109,6	117,2
Ohittajien nopeuksien keskihajonta [km/h], kaikki ohitukset	9,4	10,1	12,8	9,4	11,5	9,9
Ohittajien nopeuksien keskiarvo [km/h], ohittajana henkilöauto	110,8	118,4	108,1	117,6	109,3	118,1
Ohittajien nopeuksien mediaani [km/h], ohittajana henkilöauto	110,2	116,8	107,8	118,3	108,8	117,5
Ohittajien nopeuksien keskihajonta [km/h], ohittajana henkilöauto	9,5	10,3	12,8	9,5	11,6	10,1

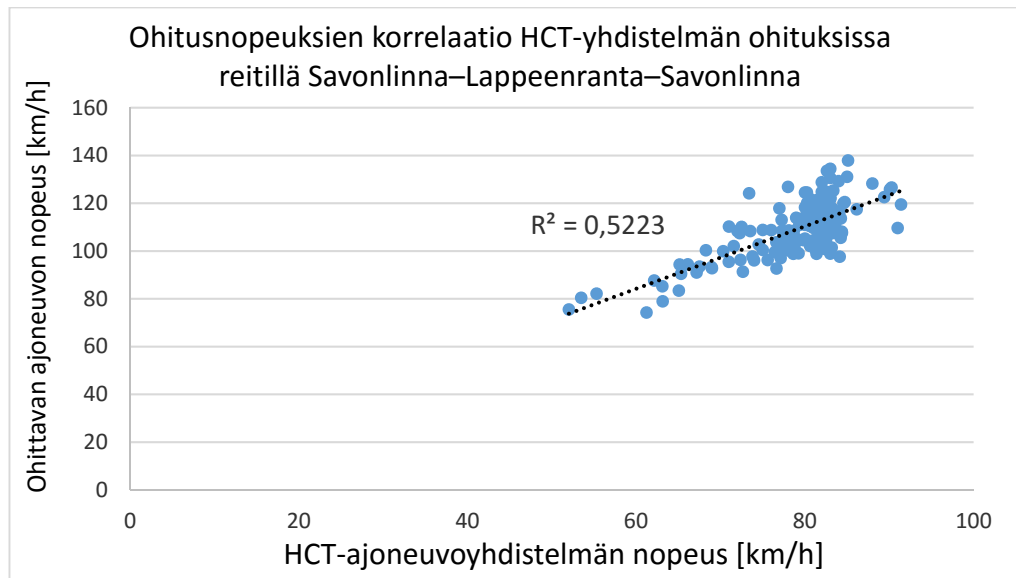
Taulukosta 6.25 nähdään, että HCT-yhdistelmän ohittajien nopeus ohitusten aikana oli Lappeenrantaan ajettaessa noin 111 km/h ja Savonlinnaan ajettaessa noin 108 km/h. Suuntien välinen ero ei kuitenkaan ole riippumattomien otosten t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä. Verrokkiyhdistelmän ohittajien keskinopeus ohitusten aikana oli merkittävästi korkeampi: Lappeenrantaan ajettaessa noin 118 km/h ja Savonlinnaan ajettaessa noin 117 km/h. Keskinopeuksien ero HCT-yhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän ohittajien välillä todettiin myös tilastollisesti erittäin merkitseväksi riippumattomien otosten t-testillä ($p < 0,001$). Ajoneuvoyhdistelmien välistä eroa tosin kasvattaa se, että HCT-yhdistelmän ohituksista suurempi osa (noin 32 %) oli talvikaudelta, kun taas verrokkiyhdistelmän ohituksista vain noin 5 % oli talvikaudelta. Tämän vuoksi HCT-yhdistelmän materiaalisissa on merkittävästi verrokkiyhdistelmää enemmän ohituksia, jotka on suoritettu nopeusrajoitusalueella 80 km/h. Jos otetaan huomioon vain kesänopeusrajoitusten voimassaoloaikana tehdyt ohitukset, oli HCT-yhdistelmän ohittajien keskinopeus ohitusten aikana keskimäärin 112,1 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohittajien keskinopeus keskimäärin 118,3 km/h. Vaikka vertailtaisiin vain kesäaikana suoritettuja ohituksia, on HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohittajien nopeuksien keskiarvojen ero edelleen tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$).

Taulukosta 6.25 havaitaan myös, että ohittajien ohitusten aikaisten keskinopeuksien mediaaniarvot eivät merkittävästi poikkea edellä esitetyistä keskiarvoista. Ohittajien nopeuksien keskihajonta oli HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin noin 12 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 10 km/h. Kun tarkastellaan taulukon 6.25 kolmea alinta riviä eli vain niitä ohituksia, joissa ohittajana oli henkilöauto, eivät keskiarvot, mediaanit ja keskihajonnan arvot merkittävästi muutu edellä esitettyihin lukuihin nähden.

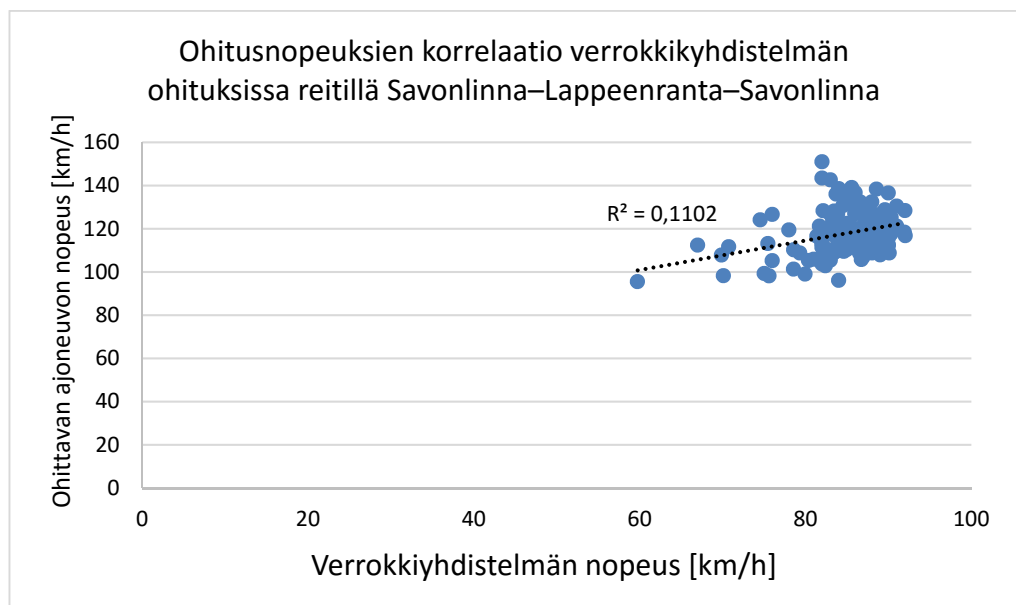
Kuten luvussa 5.2.3 esitettiin, Orpe Kuljetus Oy:n ja Kuljetus Szepaniak Oy:n ajoneuvojen reiteillä on myös leveäkaistaisia tieosuuksia. Koska ohituskäyttäytyminen leveäkaistateilla ei välttämättä ole samanlaista kuin tavallisilla kaksikaistaisilla teillä, ei leveäkaistateilla tapahtuneita ohituksia ole huomioitu kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneita ohituksia kuvaavia tunnuslukuja laskettaessa. Koska ohituksia leveäkaistateilla tapahtui myös verrattain vähän, ei tarkemman tilastollisen analyysin tekemistä ja tilastollisten tunnuslukujen esittämistä niiden osalta katsottu mielekkääksi. Voidaan kuitenkin todeta, että HCT-yhdistelmän leveäkaistatieosuuksilla ohittaneiden ajoneuvojen keskinopeus ohitusten aikana oli 109,6 km/h, eli jotakuinkin yhtä suuri kuin tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla. Verrokkiyhdistelmän leveäkaistateilla ohittaneiden ajoneuvojen keskinopeus ohitusten aikana oli puolestaan 113,8 km/h, eli alhaisempi kuin tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa. Nopeusrajoitus leveäkaistatieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa oli 100 km/h.

Taulukon 6.24 yhteydessä todettiin, että verrokkiyhdistelmän nopeus ohitusten aikana oli merkittävästi suurempi kuin HCT-yhdistelmän nopeus ohitusten aikana. Vastavasti taulukon 6.25 yhteydessä todettiin, että verrokkiyhdistelmän ohittajien nopeudet olivat merkittävästi suurempia kuin HCT-yhdistelmän ohittajien. Tälläkin reitillä haluttiin tutkia ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien sekä ohittajien nopeuksien välistä korrelaatiota tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa ohittajien nopeuksien ja ajoneuvoyhdistelmien nopeuksien välillä todettiin tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio. HCT-yhdistelmän ohituksissa korrelaation todettiin olevan merkittävästi suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa; HCT-yhdistelmän nopeus selitti ohittajien nopeuksista keskimäärin noin 52 %, kun taas verrokkiyhdistelmän nopeus selitti ohittajien nopeuksista keskimäärin noin 11 %. Korrelaatioita on kuvattu graafisessa muodossa kuvissa

6.12 ja 6.13. Lisäksi taulukkoon 6.26 on listattu, kuinka suuri korrelaatiokertoimen r arvo oli kunkin ajoneuvoyhdistelmän ja sen ohittajien nopeuksien välillä. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu nopeuksien välinen selitysaste prosentteina.



Kuva 6.12. HCT-yhdistelmän ja sen ohittajien ohitusten aikaisten nopeuksien korrelaatio reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.



Kuva 6.13. Verrokkijhdistelmän ja sen ohittajien ohitusten aikaisten nopeuksien korrelaatio reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Taulukko 6.26. Ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon nopeuksien korrelaatiokertoimien ja selitysasteiden arvoja reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:linnaan	Verrokki, S:linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohittajien ja ohitettavan ajoneuvon nopeuksien korrelaatiokerroin r	0,602	0,346	0,766	0,321	0,722	0,332
Selitysaste [%]	36,2	12,0	58,7	10,3	52,2	11,0

Ohitusten keston kannalta merkittävä tekijä on ohittajan ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän välinen nopeusero. Tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa havaittujen nopeuserojen keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuserojen keskihajonnan arvoja on kuvattu taulukossa 6.27.

Taulukko 6.27. Ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon ohitusten aikaisten keskinopeuksien välisen erotuksen keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuseron keskihajonnan arvoja reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:linnaan	Verrokki, S:linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Nopeuseron keskiarvo [km/h], kaikki ohitukset	32,1	33,6	29,9	31,6	30,9	33,0
Nopeuseron mediaani [km/h], kaikki ohitukset	31,4	32,9	28,3	30,2	29,5	31,9
Nopeuseron keskihajonta [km/h], kaikki ohitukset	11,8	9,6	8,7	8,9	10,2	9,5
Nopeuseron keskiarvo [km/h], Ohittajana henkilöauto	31,6	34,1	30,1	31,8	30,8	33,4
Nopeuseron mediaani [km/h], ohittajana henkilöauto	30,8	33,2	28,2	30,8	29,0	32,5
Nopeuseron keskihajonta [km/h], Ohittajana henkilöauto	11,8	9,9	8,7	9,0	10,2	9,7

Taulukosta 6.27 havaitaan, että ajoneuvoyhdistelmien väliset erot ohittajan ja ohitettavan ajoneuvon nopeuksien erotuksissa ovat pieniä verrattuna taulukoissa 6.24 ja 6.25 nähtyihin eroihin ajoneuvoyhdistelmien nopeuksien välillä sekä ohittajien nopeuksien välillä. Ohittajan ja ohitettavan välinen nopeusero on ollut HCT-yhdistelmän ohituksissa Lappeenrantaan ajettaessa noin 32 km/h ja Savonlinnaan ajettaessa noin 30 km/h. Verrokkiyhdistelmän ohituksissa nopeuserot olivat hieman suurempia: noin 34 km/h Lappeenrantaan ajettaessa ja noin 32 km/h Savonlinnaan ajettaessa. Ajoneuvoyhdistelmien väliset erot eivät kuitenkaan ole tilastollisesti merkitseviä. Nopeuserojen mediaanit ovat puolestaan noin 1–2 km/h edellä esitettyjä keskiarvoja alhaisempia. Nopeuseron keskihajonta on kummankin ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa keskimäärin noin 10 km/h. Nopeuserojen keskiarvot, mediaanit ja keskihajonnat eivät merkittävästi muutu edellä esitetystä, kun otetaan huomioon vain ne ohitukset, joissa ohittajana oli henkilöauto.

Taulukon 6.27 perusteella HCT-yhdistelmän ohituksissa ohittajan ja ohitettavan välinen nopeusero on pienempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Tätä selittää kuitenkin se, että HCT-yhdistelmän materiaalissa oli enemmän talvikaudella (80 km/h -nopeusrajoitusalueella) tapahtuneita ohituksia. Kesäkaudella suoritetuissa ohituksissa nopeuseron keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa 32,6 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 33,3 km/h. Talvikaudella suoritetuissa ohituksissa nopeuseron keskiarvo oli puolestaan HCT-yhdistelmän ohituksissa 27,4 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 27,7 km/h. Ohittajan ja ohitettavan ajoneuvon välinen nopeusero ei siis riippunut merkittävästi ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän tyypistä tai sen nopeudesta. Lisäksi nähdään, että talvinopeusrajoitusten voimassaolon aikana nopeuserot ohituksissa olivat noin 5–6 km/h alhaisempia kuin kesällä.

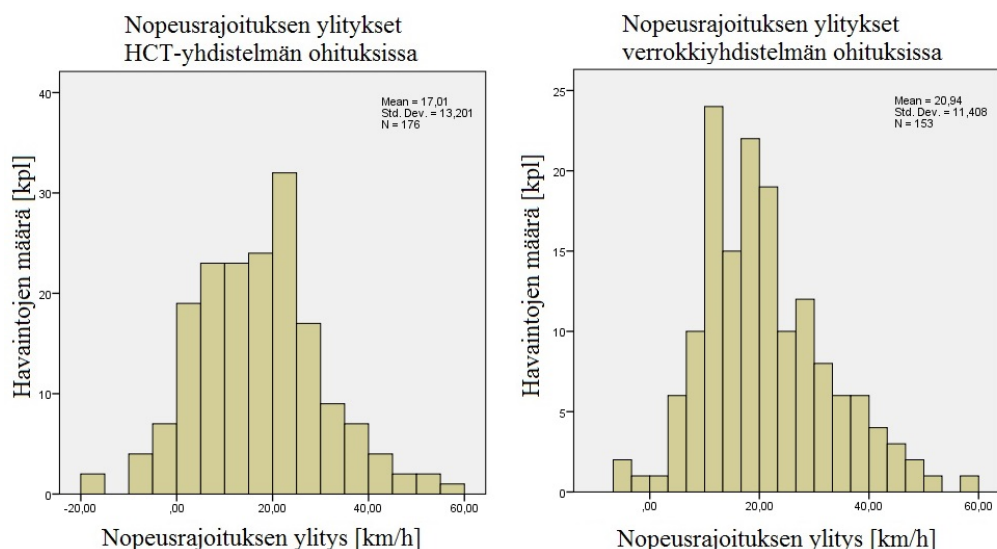
Ohittajien ja ohitettavien ajoneuvojen välisen nopeuseron lisäksi tutkittiin ohittajien ohitusten aikaisen keskinopeuden ja ohituspaikalla vallitsevan nopeusrajoituksen erotusta. Kuten aiemmin todettiin, HCT-yhdistelmän materiaalissa havaittiin enemmän talvikaudella suoritettuja ohituksia. Sen myötä HCT-yhdistelmän materiaalissa oli verrokin materiaalia enemmän ohituksia, jotka suoritettiin 80 km/h -nopeusrajoitusalueella. Valtaosa ohituksista kuitenkin suoritettiin nopeusrajoitusalueella 100 km/h. HCT-yhdistelmän ohituksista 61,4 % tapahtui nopeusrajoitusalueella 100 km/h ja 38,6 % nopeusrajoitusalueella 80 km/h. Verrokkiyhdistelmän ohituksista noin 85 % tapahtui nopeusrajoitusalueella 100 km/h ja loput 15 % nopeusrajoitusalueella 80 km/h. Taulukkoon 6.28 on koottu tilastollisia tunnuslukuja ohittajien nopeuden ja nopeusrajoituksen välisestä erotuksesta kaikilla poikkileikkaukseltaan normaaleilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa.

Taulukko 6.28. Ohittajien nopeuden ja ohituspaikalla vallitsevan nopeusrajoituksen välisen erotuksen keski- ja mediaaniarvoja kaksikaistaisilla tiealueilla havaituissa ohituksissa reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:ran- taan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:lin- naan	Ver- rokki, S:lin- naan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskiarvo [km/h], kaikki ohitukset	16,5	20,8	17,4	21,2	17,0	21,2
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen mediaani [km/h], kaikki ohitukset	14,5	18,3	18,6	20,7	16,4	20,7
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskihajonta [km/h], kaikki ohitukset	11,5	12,2	14,3	9,3	13,2	9,3
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskiarvo [km/h], ohittajana henkilöauto	15,8	21,4	17,9	21,6	17,0	21,5
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen mediaani [km/h], ohittajana henkilöauto	13,6	18,4	19,0	20,9	16,4	19,7
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskihajonta [km/h], ohittajana henkilöauto	11,2	12,4	13,8	9,4	12,8	11,5

Taulukosta 6.28 nähdään, että ohittajien nopeudet ohitusten aikana olivat keskimäärin noin 17–21 km/h korkeampia kuin nopeusrajoitusten osoittamat nopeudet. Verrokkiyhdistelmän ohituksissa nopeusrajoituksen ylitykset olivat keskimäärin noin 4 km/h suurempia kuin HCT-yhdistelmän ohituksissa. Nopeusrajoitusten ylitysten keskiarvojen ero ei kuitenkaan riippumattomien otosten t-testin mukaan ole tilastollisesti merkitsevää. Vertailtavuutta tosin heikentää se, että HCT-yhdistelmän materiaaalissa oli enemmän talvikaudella suoritettuja ohituksia, joista kaikki tapahtuivat 80 km/h -nopeusrajoitusalueella. Jos otetaan huomioon vain ohitukset, jotka tapahtuivat kesänopeusrajoitusten voimassaolon aikana, laskevat nopeusrajoitusten keskimääräiset ylitykset. Nopeusrajoituksen keskimääräinen ylitys kesäaikana suoritetuissa HCT-yhdistelmän ohituksissa oli 14,0 km/h, kun vastaava arvo verrokkiyhdistelmän tapauksissa oli 20,5 km/h. Nopeusrajoituksen keskimääräinen ylitys talviaikana suoritetuissa HCT-yhdistelmän ohituksissa oli puolestaan 23,4 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 29,3 km/h. Kun vertaillaan keskenään vain kesäkaudella suoritettuja HCT- ja verrokkiyhdistelmien ohituksia, nopeusrajoituksen ylityksen keskiarvot eroavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Voidaan siis todeta, että verrokkiyhdistelmän ohituksissa nopeusrajoituksen ylitykset olivat suurempia kuin HCT-yhdistelmän ohituksissa. Koska aiemmin todettiin ohittajien nopeuksien korreloivan voimakkaasti ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nopeuden kanssa, voidaan olettaa, että verrokkiyhdistelmän keskimäärin suuremmat nopeusrajoituksen ylitykset johtuivat verrokkiyhdistelmän HCT-yhdistelmää suuremmasta ohitusten aikaisesta nopeudesta.

Kuvassa 6.14 on esitetty nopeusrajoituksen ylitysten jakaumat Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa. Kuvasta nähdään, että muiden reittien tapaan myös Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä ylinopeudet ohitusten aikana olivat hyvin yleisiä. HCT-yhdistelmän ohituksista 7,4 % oli sellaisia, joissa nopeusrajoituksen osoittamaa nopeutta ei ylitetty. Vastaava luku verrokkiyhdistelmän ohituksissa oli 2,0 %.



Kuva 6.14. Ohittajien nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen frekvenssijakaumat HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna. Nopeusrajoituksen ylitykset olivat verrokkiyhdistelmän ohituksissa hieman suurempia ja yleisempiä kuin HCT-yhdistelmän ohituksissa.

Reitit yhdessä tarkasteltuna

Ohitusnopeuksiin liittyen tutkittiin ensin ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksia kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneiden ohitusten aikana. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä HCT-yhdistelmän keskinopeus ohitusten aikana oli noin 75 km/h ja verrokkiyhdistelmän vastaava nopeus noin 78 km/h. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä HCT-yhdistelmän keskinopeus ohitusten aikana oli noin 82 km/h ja verrokkiyhdistelmän vastaava nopeus noin 83 km/h. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä HCT-yhdistelmän keskinopeus ohitusten aikana oli noin 78 km/h ja verrokkiyhdistelmän vastaava nopeus noin 85 km/h. HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaiset keskinopeudet olivat keskimäärin 1–6 km/h verrokkiyhdistelmien ohitusten aikaisia keskinopeuksia matalampia. Suurimmat erot havaittiin Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä ja pienimmät erot puolestaan Vantaan ja Kempeleen välisellä reitillä. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä HCT- ja verrokkiyhdistelmän välinen ero ohitusten aikaisissa keskinopeuksissa ei ollut tilastollisesti merkitsevä, kun taas kahdella muulla reitillä yhdistelmien väliset erot olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä.

Ohitusten keston ja ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien nopeuksien avulla laskettiin ohittajien keskinopeudet ohitusten aikana. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä sekä HCT- että verrokkiyhdistelmän ohittajien keskinopeus ohitusten aikana oli noin 109 km/h. Vantaan ja Kempeleen välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohittajien keskinopeus ohitusten aikana oli noin 115 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohittajien vastaava nopeus noin 113 km/h. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohittajien keskinopeus ohitusten aikana oli noin 109 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohittajien vastaava nopeus noin 118 km/h. Suurimmat erot ohittajien nopeuksissa havaittiin Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä ja pienimmät erot puolestaan Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä. Ohittajien nopeudet erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ainoastaan Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä. Tällä reitillä verrokkiyhdistelmän ohittajien nopeudet olivat HCT-yhdistelmän ohittajien nopeuksia merkittävästi suurempia todennäköisesti sen vuoksi, että myös verrokkiyhdistelmän nopeus ohitusten aikana oli merkittävästi korkeampi kuin HCT-yhdistelmän nopeus ohitusten aikana. Lisäksi HCT-yhdistelmän ohituksissa oli enemmän talvikaudella suoritettuja ohituksia, joissa ohitusnopeudet olivat hieman kesäkaudella suoritettuja ohituksia alhaisempia.

Kaikilla reiteillä ohittajien ja ohitettavien ajoneuvojen ohitusten aikaisten nopeuksien välillä oli tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä korrelaatiokertoimen r arvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 0,68 (selitysaste 46 %) ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 0,78 (selitysaste 61 %). Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä korrelaatiokertoimen r arvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 0,60 (selitysaste 36 %) ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 0,43 (selitysaste 18 %). Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä korrelaatiokertoimen r arvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 0,72 (selitysaste 52 %) ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 0,33 (selitysaste 11 %). HCT-ajoneuvoyhdistelmien nopeudet siis selittivät ohittajien nopeuksista noin 36–52 %. Vastaavasti verrokkiyhdistelmien nopeudet selittivät ohittajien nopeuksista noin 11–61 %.

Ohittajan nopeuden ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nopeuden avulla laskettiin, mikä oli ajoneuvojen nopeuksien erotus kussakin ohituksessa. Tämän niin sanotun suhteellisen nopeuden arvo oli Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 34 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 32 km/h. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä nopeuksien erotuksen keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 33 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 30 km/h. Savonlinnan

ja Lappeenrannan välisellä reitillä nopeuksien erotuksen keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 31 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 33 km/h. Voidaankin sanoa, että suhteellisen nopeuden keskiarvoissa oli verrattain vähän reittien ja ajoneuvoyhdistelmien välisiä eroja; kaikilla reiteillä sekä HCT- että verrokkiyhdistelmät ohitettiin hieman yli 30 km/h nopeuserolla. Suhteellisen nopeuden ei siis havaittu merkittävästi muuttuvan, vaikka ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nopeus muuttuisi.

Lopuksi tutkittiin ohittajan nopeuden ja ohituspaikalla vallitsevan nopeusrajoituksen välistä erotusta eli nopeusrajoituksen ylityksiä. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä ohittajien ylinopeus oli kummankin yhdistelmän ohituksissa keskimäärin noin 11 km/h. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä ohittajien ylinopeus oli HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin 17 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa keskimäärin 15 km/h. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä ohittajien ylinopeus oli HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin 17 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa keskimäärin 21 km/h. Ylinopeudet ohitusten aikana olivat siis hyvin yleisiä kaikilla reiteillä; reitistä ja ajoneuvoyhdistelmästä riippuen 2–22 % ohituksista oli sellaisia, joissa ohittajan nopeus oli korkeintaan suurimman sallitun nopeuden suuruinen. Lisäksi havaittiin, että sellaisilla reiteillä, joilla nopeusrajoituksia laskettiin talvisin nopeudesta 100 km/h nopeuteen 80 km/h, olivat nopeusrajoituksen ylitykset talvikaudella suoritetuissa ohituksissa suurempia kuin kesällä suoritetuissa ohituksissa. HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohittajien väliset erot nopeusrajoitusten keskimääräisissä ylityksissä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä millään tutkituista reiteistä. Koska ohittajan ja ohitettavan välisen nopeuseron todettiin vaihtelevan reittien välillä hyvin vähän, voidaan olettaa, että nopeusrajoitusten ylitysten suuruus riippuu voimakkaasti ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien nopeuksista ohitusten aikana sekä nopeusrajoitusten suuruudesta.

6.5 Ohitusaikavälin pituus

Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista tutkittiin ohittajien hyväksymien ja hylkäämien aikavälien pituuksia luvussa 5.4 esitetyllä tavalla. Hyväksytyjen ja pisimpien hylättyjen aikavälien pituuksien avulla voitiin määrittää kunkin ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseksi vaaditun kriittisen aikavälin keskiarvo suurimman uskottavuuden menetelmällä. Taulukossa 6.29 on esitetty HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohittaneiden ajoneuvojen kuljettajien hyväksymien aikavälien keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä aikavälien keskihajonnan arvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi. Taulukossa 6.30 on puolestaan esitetty vastaavissa ohituksissa havaittujen pisimpien hylättyjen aikavälien keski-, mediaani- ja maksimiarvoja sekä keskihajonnan arvoja.

Taulukko 6.29. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa hyväksytyjen aikavälien keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä keskihajonnan arvoja reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Hyväksytyjen aikavälien keskiarvo [s]	35,9	36,1	33,7	32,3	34,6	33,3
Hyväksytyjen aikavälien mediaani [s]	34,2	34,0	31,1	31,2	31,9	32,7
Hyväksytyjen aikavälien keskihajonta [s]	13,9	13,3	11,4	12,5	12,4	12,9
Pienin hyväksytty aikaväli [s]	14,3	17,3	14,1	10,9	14,1	10,9

Taulukko 6.30. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa pisimmistä hylätyistä aikaväleistä laskettuja tilastollisia tunnuslukuja reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Hylättyjen aikavälien keskiarvo [s]	18,0	17,8	14,4	13,6	15,8	14,8
Hylättyjen aikavälien mediaani [s]	21,0	15,5	15,6	13,1	18,2	14,3
Hylättyjen aikavälien keskihajonta [s]	16,7	19,4	14,8	14,5	15,7	16,2
Suurin hylätty aikaväli [s]	71,4	79,1	63,0	47,2	71,4	79,1

Taulukosta 6.29 nähdään, että Ivalon suuntaan ajaneiden tyhjien yhdistelmien ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvot ovat molempien yhdistelmien tapauksessa noin 36 sekuntia ja mediaaniarvot noin 34 sekuntia. Keskiarvoissa ei ole riippumattomien otosten t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevää eroa tyhjien ajoneuvoyhdistelmien välillä. Rovaniemen suuntaan ajaneen kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvo on 33,7 sekuntia, kun verrokkiyhdistelmän tapauksessa vastaava arvo on 32,3 sekuntia. Myöskään kuormattujen yhdistelmien ohituksissa ei ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvojen välillä havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa. Kuormattujen yhdistelmien ohittajien hyväksymien aikavälien mediaaniarvot ovat kummankin yhdistelmän tapauksessa noin 31 sekuntia. Hyväksytyjen

aikavälien arvoissa ei siis ole suuria eroja ajoneuvoyhdistelmien välillä. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa hyväksytyt aikavälit ovat noin kolme sekuntia lyhyempiä kuin tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa. Hyväksytyjen ohitusaikavälien keskiarvojen eroa tyhjän ja kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän sekä tyhjän ja kuormatun verrokkiyhdistelmän välillä ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitseväksi. Taulukon 6.29 lukujen sekä tilastollisten testien perusteella hyväksytyjen aikavälien suuruuteen ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi se, oliko ohitettava ajoneuvo HCT- vai verrokkiyhdistelmä eikä se, oliko yhdistelmä tyhjä vai kuormattu. Merkittävä tekijä hyväksytyjen aikavälien jakauman kannalta on vastaantulevan liikenteen määrä.

Taulukossa 6.30 esitetyistä arvoista havaitaan, että myöskään pisimpien hylättyjen aikavälien keskiarvoissa ei ole suurta eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä; Ivalon suuntaan ajaneiden tyhjien yhdistelmien ohituksissa pisimmät hylätyt aikavälit olivat keskimäärin noin 18 sekunnin pituisia ja kuormattujen yhdistelmien ohituksissa noin 14 sekunnin pituisia. Tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohittajien hylkäämien pisimpien aikavälien keskiarvoissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa, ja vastaava tulos saatiin myös Rovaniemen suuntaan ajaneiden kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksista. Hylättyjen aikavälien mediaaniarvoissa voidaan kuitenkin nähdä merkittäviä eroja: tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa pisimpien hylättyjen aikavälien mediaaniarvo on 21 sekuntia ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa 15,5 sekuntia. Kuormattujen yhdistelmien tapauksessa mediaaniarvot ovat hieman alhaisempia: HCT-yhdistelmän ohituksissa 15,6 sekuntia ja verrokin ohituksissa 13,1 sekuntia. Mediaaniarvojen perusteella näyttää siltä, että suurempi osa HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajista hylkää pidempiä aikavälejä kuin verrokin ohittajista. Ero on suurempi tyhjien kuin kuormattujen yhdistelmien tapauksessa. Lisäksi taulukosta 6.30 havaitaan, että pisimmät hylätyt aikavälit ovat verrattain pitkiä: HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa 71,4 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 79,1 sekuntia.

Koska hyväksytyjen aikavälien kestossa ei havaittu juurikaan eroa HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohitusten välillä, mutta pisimmät hylätyt aikavälit olivat HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa mediaaniarvoltaan pidempiä kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa, voidaan olettaa, että kriittinen aikaväli on HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Tämä voidaan nähdä myös taulukosta 6.31, johon on listattu kriittisen aikavälin arvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu sellaisten ohitusten suhteellinen osuus, joissa ohittajat eivät hylänneet yhtään aikaväliä sekä sellaisten ohitusten suhteellinen osuus, joissa ohittajat käyttäytyivät epäjohdonmukaisesti eli hyväksyivät lyhyemmän aikavälin kuin olivat aiemmin hylänneet.

Taulukko 6.31. Kriittisen aikavälin arvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi. Taulukossa on lisäksi ilmoitettu niiden ohitusten osuus, jossa hylättyjä aikavälejä ei ollut, sekä niiden ohitusten osuus, joissa ohittajat käyttäytyivät epäjohdonmukaisesti eli hyväksyivät lyhyemmän aikavälin kuin olivat aiemmin hylänneet.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Kriittinen aikaväli [s]	27,2	26,1	25,0	22,9	25,2	23,9
Tarkasteltujen ohitusten määrä	88	51	138	113	226	164
Ei hylättyjä aikavälejä -ohitusten osuus [%]	39,8	43,1	42,8	45,1	41,6	44,5
Epäjohdonmukaisesti käyttäytyneiden osuus [%]	21,6	15,7	19,6	16,8	20,4	16,5

Taulukosta 6.31 nähdään, että tyhjänä Ivaloon ajaneen HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa kriittisen aikavälin keskiarvo oli 27,2 sekuntia, kun se tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa oli 26,1 sekuntia. Tyhjiä ajoneuvoyhdistelmiä ohitettaessa HCT-yhdistelmää ohittaneet siis vaativat keskimäärin hieman alle sekunnin pidemmän aikavälin kuin verrokkiyhdistelmää ohittaneet. Toisaalta keskihajonta oli tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista tehdyissä havainnoissa noin kaksi sekuntia suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksista tehdyissä havainnoissa. Kuormattuja yhdistelmiä ohitettaessa kriittinen aikaväli laski siten, että HCT-yhdistelmän ohituksissa kriittisen aikavälin keskiarvo oli 25,0 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 22,9 sekuntia. Ero kriittisessä aikavälissä oli siis suurempi kuormattujen kuin tyhjien ajoneuvoyhdistelmien välillä.

Sekä tyhjien että kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksista saatuja arvoja verrattaessa voidaan nähdä, että verrokkiyhdistelmän ohituksista suurempi osuus oli sellaisia ohituksia, joissa ohittajat hyväksyivät ensimmäisen aikavälin eikä yhtään aikaväliä hylätty. Kaikista verrokkiyhdistelmän ohituksista tällaisten ohitusten osuus oli 44,5 prosenttia, kun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa vastaava luku oli 41,6 prosenttia. Tämä osuus ohituksista koostuu lentävistä ja jono-ohituksista sekä sellaisista kiihdytysohituksista, joissa jonotus tapahtui kokonaisuudessaan ohituskieltoalueella. Yhdistelmien välinen ero on looginen sikäli, että verrokkiyhdistelmän ohittajien kriittinen aikaväli todettiin lyhyemmäksi kuin HCT-yhdistelmän ohittajien. Tällöin ohituksen suorittamiseksi riittävän alkuaikavälin löytymisen todennäköisyys oli verrokkiyhdistelmän ohittajien tapauksessa suurempi. Myös liikennemäärällä on merkittävä vaikutus riittävän suuren alkuaikavälin löytymisen todennäköisyyteen.

Epäjohdonmukaisesti käyttäytyneiden ohittajien osuus oli puolestaan suurempi HCT-ajoneuvoyhdistelmän kuin verrokkiyhdistelmän ohittajista. Kaikista HCT-ajoneuvoyhdistelmän kaksikaistaisilla tieosuuksilla ohittaneista kuljettajista 20,4 prosenttia hyväksyi lyhyemmän aikavälin kuin oli aiemmin hylännyt. Verrokkiyhdistelmän ohituksista vastaavaa epäjohdonmukaisuutta esiintyi 16,5 prosentissa ohituksista. Epäjohdonmukaisuutta oli havaittavissa erityisesti niin, että pitkiäkin aikavälejä saatettiin hylätä, mikäli vastaantulija oli näkyvässä, mutta mikäli vastaantulijoita ei ollut näkyvässä, saatettiin hyväksyä huomattavasti lyhyempikin aikaväli.

Luvussa 6.4 esitettiin ohittavan ajoneuvon nopeuden ja ohitettavan ajoneuvon nopeuden välistä korrelaatiota koskevia tietoja. Nopeuksien välillä todettiin tilastollisesti merkitsevä korrelaatio, ja Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä ohitettavan ajoneuvon nopeuden todettiin selittävän noin 30–66 % ohittavan ajoneuvon nopeudesta. Tilastollisin testein haluttiin selvittää myös hyväksytyn aikavälin ja ohittavan ajoneuvon ohituksen aikaisen nopeuden välistä korrelaatiota eli sitä, onko lyhyemmän ohitusajavälin hyväksyneiden ohittajien nopeus ohitusten aikana suurempi kuin pidemmän ohitusajavälin hyväksyneiden ohittajien. Pearsonin korrelaatiotarkasteluin voitiin todeta, ettei hyväksytyn aikavälin ja ohittajan nopeuden välillä ollut tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota kummankaan ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa.

Ohittavan ajoneuvon nopeuden ja hyväksytyn ohitusajavälin suuruuden välisen korrelaation lisäksi tutkittiin, havaitaanko vastaantulevan liikenteen määrän ja hyväksytyn ohitusajavälin pituuden välillä korrelaatiota. Vastaantulevan liikenteen määrä laskettiin luvussa 5.4 esitetyllä tavalla ja liikennemäärän yksikkönä käytettiin ajoneuvoa tunnissa. Korrelaatiotarkastelun lähtökohtana oli oletus, että mikäli vastaantulevaa liikennettä on runsaasti, saattavat ohittamaan pyrkivät kuljettajat olla valmiita hyväksymään keskimääräistä lyhyempiä aikavälejä. Lisäksi pitkiä aikavälejä on tarjolla hyväksyttäväksi sitä vähemmän, mitä suurempi liikennemäärä on. Tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota ei kuitenkaan Pearsonin korrelaatiotarkastelujen avulla havaittu kummankaan ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa. Tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa liikennemäärä selitti noin 3 % hyväksytyn ohitusajavälin suuruudesta, muissa tapauksissa selitysaste oli 0 %. Se, että teorian mukaista korrelaatiota ei havaittu, johtuu todennäköisesti alhaisista liikennemääristä. Keskimääräinen vastaantulevan liikenteen määrä ohitusta edeltäneen aikajakson aikana oli tyhjän HCT-yhdistelmän tapauksessa 53 ajoneuvoa tunnissa, tyhjän verrokkiyhdistelmän tapauksessa 39 ajoneuvoa tunnissa, kuormatun HCT-yhdistelmän tapauksessa 49 ajoneuvoa tunnissa ja kuormatun verrokkiyhdistelmän tapauksessa 55 ajoneuvoa tunnissa. Liikennemäärien perusteella laskettu ajoneuvojen keskimääräinen aikaväli oli siis yli minuutin, eli huomattavasti suurempi, kuin keskimääräinen hyväksytty aikaväli. Kuten taulukossa 6.1 esitettiin, valtaosa ohituksista oli sellaisia, joissa vastaantuleva ajoneuvo ei ollut ohituksen alkaessa näkyvässä, vaan näkemää rajoitti maastoeste. Ohitusajaväliä laskettaessa selvitettiin, kuinka suuri olisi aikaväli, mikäli maastoesteen takaa ilmestyisi nopeusrajoituksen mukaista nopeutta ajava ajoneuvo välittömästi ohituksen alkamisen jälkeen. Alhaisista liikennemääristä johtuen seuraavan vastaantulijan ilmestymiseen meni kuitenkin huomattavasti pidempi aika, joten se vastaantulevien ajoneuvojen välinen todellinen aikaväli, jossa ohitus tapahtui, oli huomattavasti pidempi kuin edellä esitetyllä tavalla määritetty laskennallinen aikaväli. Lisäksi on huomattava, että suuressa osassa ohituksia ohitus ei alkanut välittömästi edellisen vastaantulijan kohtaamisen jälkeen, vaan kyseessä oli alkuaikavälissä tapahtunut ohitus.

Koska suurimmassa osassa kaksikaistaisilla teillä havaituista ohituksista näkemää rajoitti maastoeste, nähtiin hyödylliseksi laskea tunnuslukuja myös ohitushetkellä vallinneesta näkemäpituudesta. Ohituksen alkuhetkellä vallinneen näkemäpituuden keski- ja mediaaniarvoja sekä keskihajontaa on kuvattu taulukossa 6.32.

Taulukko 6.32. Ohituksen alkuhetkellä vallinneen näkemän keski- ja mediaaniarvoja sekä ohitusnäkemän keskihajonnan arvoja reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohitusnäkemän keskiarvo [m]	989	1001	927	877	951	916
Ohitusnäkemän mediaani [m]	944	997	865	850	885	885
Ohitusnäkemän keskihajonta [m]	386	360	317	345	346	352

Taulukosta 6.32 nähdään, että ohitusnäkemäpituuden arvot vertautuvat toisiinsa jotta-kuinkin samoin kuin taulukossa 6.29 esitetyt hyväksytyjen ohitusaikavälien arvot. Tyhjänä Ivalon suuntaan ajaneiden yhdistelmien ohituksissa ohitusnäkemäpituuden keskiarvossa ei ole merkittävää eroa yhdistelmien välillä, kun taas kuormattujen yhdistelmien tapauksessa ohitusnäkemäpituuden keskiarvo on verrokkiyhdistelmän tapauksessa 50 metriä lyhyempi kuin HCT-yhdistelmän tapauksessa. Taulukosta nähdään myös, että kuormattujen yhdistelmien ohituksissa ohitusnäkemäpituudet olivat keskimäärin hieman lyhyempiä kuin tyhjien yhdistelmien ohituksissa.

Kempele–Vantaa–Kempele

Taulukossa 6.33 on esitetty HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohittajien hyväksymien aikavälien keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä aikavälien keskihajonnan arvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa reitillä Kempele–Vantaa–Kempele. Taulukossa 6.34 on puolestaan esitetty ohituksissa havaittujen pisimpien hylättyjen aikavälien keski-, mediaani- ja maksimiarvoja sekä keskihajonnan arvoja.

Taulukko 6.33. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa hyväksytyjen aikavälien keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä keskihajonnan arvoja reitillä Kempele–Vantaa–Kempele.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Hyväksytyjen aikavälien keskiarvo [s]	37,9	33,7	36,2	40,9	37,2	36,4
Hyväksytyjen aikavälien mediaani [s]	36,7	30,7	35,6	34,6	36,2	32,8
Hyväksytyjen aikavälien keskihajonta [s]	14,3	14,0	12,6	25,9	13,6	19,6
Pienin hyväksytty aikaväli [s]	16,4	11,3	16,3	15,1	16,3	11,3

Taulukko 6.34. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa pisimmistä hylätyistä aikaväleistä laskettuja tilastollisia tunnuslukuja reitillä Kempele–Vantaa–Kempele.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Hylättyjen aikavälien keskiarvo [s]	16,6	14,5	14,5	14,2	15,7	14,4
Hylättyjen aikavälien mediaani [s]	17,4	14,0	10,8	9,9	15,4	13,1
Hylättyjen aikavälien keskihajonta [s]	17,7	14,1	15,8	17,0	17,0	15,2
Suurin hylätty aikaväli [s]	72,0	53,7	63,1	82,3	72,0	82,3

Taulukosta 6.33 nähdään, että HCT-yhdistelmän ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvo oli 37,2 sekuntia, kun vastaava arvo verrokkiyhdistelmän tapauksessa oli 36,4 sekuntia. Suuntakohtaisesti tarkasteltaessa havaitaan, että Vantaalle ajettaessa HCT-yhdistelmän ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvo oli noin neljä sekuntia pidempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Vastaavasti Kempeleeseen ajettaessa verrokkiyhdistelmän ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvo oli lähes viisi sekuntia pidempi kuin HCT-yhdistelmän tapauksessa. Toisaalta hyväksytyjen aikavälien mediaaniarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa suurempi kummassakin tarkastelu-

suunnassa. Riippumattomien otosten t-testillä havaittiin, etteivät hyväksytyjen aikavälien keskiarvojen erot HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä olleet tilastollisesti merkitseviä kummassakaan tarkastelusuunnassa.

Taulukosta 6.34 havaitaan puolestaan, että pisimpien hylättyjen aikavälien keskiarvot olivat HCT-yhdistelmän materiaalissa hieman suurempia kuin verrokkiyhdistelmän materiaalissa. Pisimmän hylätyn aikavälin keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 15,7 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 14,4 sekuntia. Ero ei ollut kuitenkaan riippumattomien otosten t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä kummassakaan tarkastelusuunnassa. Vaikka hyväksytyjen aikavälien ja pisimpien hylättyjen aikavälien keskiarvoissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä, voidaan hyväksytyjen ja pisimpien hylättyjen aikavälien mediaaniarvoja tarkastelemalla nähdä, että sekä HCT-yhdistelmän ohittajien hyväksymät että pisimmät hylätyt aikavälit olivat pidempiä kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa.

Hyväksytyjen aikavälien ja pisimpien hylättyjen aikavälien arvot toimivat lähtötietoina laskettaessa kriittistä aikaväliä suurimman uskottavuuden menetelmällä. Taulukkoon 6.35 on listattu kriittisen aikavälin arvoja suuntaakohtaisesti sekä kaikista kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista yhteensä. Taulukossa on myös ilmoitettu sellaisten ohitusten osuus, joissa yhtään aikaväliä ei hylätty sekä sellaisten ohitusten osuus, joissa ohittajat käyttäytyivät epäjohdonmukaisesti eli hyväksyivät lyhyemmän aikavälin kuin olivat aiemmin hylänneet.

Taulukko 6.35. Kriittisen aikavälin arvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa reitillä Kempele–Vantaa–Kempele. Taulukossa on lisäksi ilmoitettu niiden ohitusten osuus, joissa hylättyjä aikavälejä ei ollut, sekä niiden ohitusten osuus, joissa ohittajat käyttäytyivät epäjohdonmukaisesti eli hyväksyivät lyhyemmän aikavälin kuin olivat aiemmin hylänneet.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Kriittinen aikaväli [s]	27,6	23,4	26,4	25,4	27,1	24,1
Tarkasteltujen ohitusten määrä	139	112	98	66	237	178
Ei hylättyjä aikavälejä -ohitusten osuus [%]	44,9	38,4	48,0	47,0	46,0	41,6
Epäjohdonmukaisesti käyttäytyneiden osuus [%]	11,6	17,0	12,2	9,1	11,8	14,0

Taulukosta 6.35 havaitaan, että HCT-yhdistelmän ohituksissa kriittisen aikavälin arvo oli Vantaalle ajettaessa 27,6 sekuntia ja Kempeleeseen ajettaessa 26,4 sekuntia. Kun kumpikin tarkastelusuunta otetaan huomioon, kriittisen aikavälin arvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa 27,1 sekuntia. Verrokkiyhdistelmän ohituksissa kriittisen aikavälin arvo oli 23,4 sekuntia Vantaalle ajettaessa ja 25,4 sekuntia Kempeleeseen ajettaessa. Kun kumpikin tarkastelusuunta otetaan huomioon, kriittisen aikavälin arvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa 24,1 sekuntia, eli kolme sekuntia lyhyempi, kuin HCT-yhdistelmän ohituksissa. HCT-yhdistelmän ohittamiseksi siis vaadittiin noin kolme sekuntia pidempiä aikavälejä kuin normaalikokoisen verrokkiyhdistelmän ohittamiseksi.

Taulukosta 6.35 nähdään myös, että HCT-yhdistelmän ohituksista hieman suurempi osa oli sellaisia, joissa ohittajat hyväksyivät ensimmäisen aikavälin eikä yhtään aikaväliä hylätty. Tällaisia ohituksia oli HCT-yhdistelmän ohituksista noin 46 prosenttia ja verrokkiyhdistelmän ohituksesta noin 42 prosenttia. Ohittajia, jotka hyväksyivät ohitukseen lyhyemmän aikavälin kuin olivat aiemmin hylänneet, oli puolestaan verrokkiyhdistelmän ohittajista suhteellisesti hieman suurempi osa kuin HCT-yhdistelmän ohittajista. Tällaisia epäjohdonmukaisesti käyttäytyneitä ohittajia oli kuitenkin verrattain vähän; HCT-yhdistelmän ohittajista noin 12 prosenttia ja verrokkiyhdistelmän ohittajista noin 14 prosenttia.

Tilastollisin testein haluttiin tutkia hyväksytyjen ohitusaikavälien korrelaatiota muiden mitattujen suureiden kanssa. Ensin tutkittiin, riippuivatko ohittajien keskinopeudet ohitusten aikana ohitusaikavälin pituudesta. Tällaista korrelaatiota ei kuitenkaan Pearsonin korrelaatiotarkasteluissa havaittu. Lisäksi tutkittiin, onko ohittajien hyväksymien aikavälien pituudella ja vastaantulevan liikenteen määrällä tilastollisesti merkitsevä korrelaatio. Taustaoletuksena oli, että mikäli vastaantulevaa liikennettä on runsaasti, saattavat ohittajat olla valmiita hyväksymään lyhyempiä aikavälejä kuin hiljaisemman liikenteen aikana. Tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota hyväksytyn aikavälin ja vastaantulevan liikenteen määrän välillä ei kuitenkaan havaittu kummankaan ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa kummassakaan tarkastelusuunnassa. Keskimääräinen vastaantulevan liikenteen määrä ohitusta edeltäneen viiden minuutin aikana oli tunti-liikennemääräksi muutettuna HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 187 ajoneuvoa tunnissa ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 144 ajoneuvoa tunnissa. Vastaantulevien ajoneuvojen keskimääräinen aikaväli oli siis HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 19 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 25 sekuntia.

Suurimmalla osalla Kempeleen ja Vantaan välillä havaituista ohituksista vastaantulevia ajoneuvoja ei ollut näkyvissä ohitusta aloitettaessa, vaan näkemää rajoitti maastoeste. Ohitusnäkemän keski- ja mediaaniarvoja sekä keskihajonnan arvoja on listattu taulukkoon 6.36.

Taulukko 6.36. Ohituksen alkuhetkellä vallinneen näkemän keski- ja mediaaniarvoja sekä ohitusnäkemän keskihajonnan arvoja reitillä Kempele–Vantaa–Kempele.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohitusnäkemän keskiarvo [m]	1016	913	989	1115	1005	988
Ohitusnäkemän mediaani [m]	1000	840	923	960	975	868
Ohitusnäkemän keskihajonta [m]	378	376	358	715	370	534

Taulukosta 6.36 nähdään, että Vantaalle ajettaessa ohitusnäkemän pituus on ollut HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin 1016 metriä eli noin 100 metriä pidempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Kempeleeseen ajettaessa ohitusnäkemä on ollut HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin noin 990 metriä eli noin 125 metriä lyhyempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Molempien tarkastelusuuntien havainnot yhdistettynä nähdään, että ohitusnäkemän arvo on ollut HCT-yhdistelmän ohituksissa keskiarvoltaan vajaat 20 metriä pidempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Mediaaniarvojen ero on sen sijaan suurempi; ohitusnäkemän mediaaniarvo HCT-yhdistelmän ohituksissa oli 975 metriä ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 868 metriä eli yli sata metriä lyhyempi kuin HCT-yhdistelmällä.

Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Taulukossa 6.37 on esitetty HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohittajien hyväksymien aikavälien keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä aikavälien keskihajonnan arvoja poikkeileikkaukseltaan tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna. Taulukossa 6.38 on puolestaan esitetty ohituksissa havaittujen pisimpien hylättyjen aikavälien keski-, mediaani- ja maksimiarvoja sekä keskihajonnan arvoja.

Taulukko 6.37. Tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa hyväksyttyjen aikavälien keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä keskihajonnan arvoja reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:linnaan	Verrokki, S:linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Hyväksyttyjen aikavälien keskiarvo [s]	33,6	29,9	36,0	29,0	34,9	29,6
Hyväksyttyjen aikavälien mediaani [s]	32,3	29,9	34,2	27,7	33,5	28,4
Hyväksyttyjen aikavälien keskihajonta [s]	10,8	8,6	11,5	9,7	11,3	9,0
Pienin hyväksytty aikaväli [s]	16,1	16,3	15,9	15,1	15,9	15,1

Taulukko 6.38. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa pisimmistä hylätyistä aikaväleistä laskettuja tilastollisia tunnuslukuja reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:linnaan	Verrokki, S:linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Hylättyjen aikavälien keskiarvo [s]	14,8	10,7	16,1	15,0	15,5	12,0
Hylättyjen aikavälien mediaani [s]	14,7	7,2	16,2	15,3	15,1	11,9
Hylättyjen aikavälien keskihajonta [s]	15,4	11,8	16,2	12,1	15,9	12,1
Suurin hylätty aikaväli [s]	54,5	44,9	67,5	43,2	67,5	44,9

Taulukosta 6.37 nähdään, että HCT-yhdistelmän ohittajat hyväksyivät keskimäärin 34,9 sekunnin pituisia aikavälejä, kun verrokkiyhdistelmän ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvo oli 29,6 sekuntia. Lappeenrannan suuntaan ajettaessa HCT-yhdistelmän ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvo oli 3,7 sekuntia pidempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Savonlinnan suuntaan ajettaessa ero oli huomattavasti suurempi; HCT-yhdistelmän ohittajat hyväksyivät keskimäärin seitsemän sekun-

tia pidempiä aikavälejä kuin verrokkiyhdistelmän ohittajat. Savonlinnan suuntaan aja-neiden yhdistelmien tapauksessa hyväksytyjen aikavälien keskiarvojen ero todettiin tilastollisesti erittäin merkitseväksi ($p < 0,001$), kun taas Lappeenrannan suuntaan aja-neiden yhdistelmien tapauksessa keskiarvojen ero ei ollut riippumattomien otosten t-testin mukaan merkitsevä. Hyväksytyjen aikavälien mediaanit olivat hieman edellä esitettyjä keskiarvoja matalampia.

Taulukosta 6.38 havaitaan puolestaan, että pisimpien hylättyjen aikavälien keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa 15,5 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 12,0 sekuntia. Ajoneuvoyhdistelmien välinen ero hylättyjen aikavälien keskiarvoissa oli noin neljä sekuntia Lappeenrantaan ajettaessa ja noin sekunnin Savonlinnan suuntaan ajettaessa. Kummassakaan tarkastelusuunnassa ajoneuvoyhdistelmien välinen ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä.

Hyväksytyjen aikavälien ja pisimpien hylättyjen aikavälien avulla laskettiin kriittisen aikavälin arvo suurimman uskottavuuden menetelmällä. Kriittisen aikavälin arvoja Sa-vonlinnan ja Lappeenrannan väliseltä reitiltä on listattu taulukkoon 6.39. Lisäksi tau-lukossa on ilmoitettu, kuinka suuressa osassa ohituksia yhtään aikaväliä ei hylätty ja kuinka suuressa osassa ohituksia ohittajat käyttäytyivät epäjohdonmukaisesti, eli hy-väksyivät pisintä hylättyä aikaväliä lyhyemmän aikavälin.

Taulukko 6.39. Kriittisen aikavälin arvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohi-tuksissa reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna. Taulukossa on li-säksi ilmoitettu niiden ohitusten osuus, joissa hylättyjä aikavälejä ei ollut, sekä niiden ohitusten osuus, joissa ohittajat käyttäytyivät epäjohdonmu-kaisesti eli hyväksyivät lyhyemmän aikavälin kuin olivat aiemmin hylän-neet.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:ran-taan	HCT, S:lin-naan	Ver-rokki, S:lin-naan	HCT, yht.	Ver-rokki, yht.
Kriittinen aikaväli [s]	25,6	21,8	27,1	22,0	26,4	21,8
Tarkasteltujen ohitusten määrä	78	106	98	47	176	153
Ei hylättyjä aika-välejä -ohitusten osuus [%]	44,9	49,1	42,9	29,8	43,8	43,1
Epäjohdonmukai-sesti käyttäyty-neiden osuus [%]	10,3	10,4	12,2	14,9	11,4	11,8

Taulukosta 6.39 nähdään, että HCT-yhdistelmän ohituksissa kriittisen aikavälin arvo oli Lappeenrantaan ajettaessa 25,6 sekuntia ja Savonlinnaan ajettaessa 27,1 sekuntia. Kumpikin tarkastelusuunta huomioon otettuna kriittisen aikavälin arvo oli 26,4 sekun-tia. Verrokkiyhdistelmän ohituksissa kriittisen aikavälin arvo oli Lappeenrannan suun-taan ajettaessa 21,8 sekuntia ja Savonlinnan suuntaan ajettaessa 22,0 sekuntia. Kum-mankin tarkastelusuunnan havainnot yhdistettynä kriittisen aikavälin arvo oli 21,8 se-kuntia, eli 4,6 sekuntia lyhyempi kuin HCT-yhdistelmän ohituksissa.

Taulukosta 6.39 havaitaan myös, että yhdistelmien ohituksista noin 43–44 prosenttia oli sellaisia, joissa ohittajat hyväksyivät ensimmäisen aikavälin. Myöskään epäjohdonmukaisesti käyttäytyneiden kuljettajien suhteellisessa osuudessa ei havaita suurta ajoneuvoyhdistelmien välistä eroa; ohittajista 11–12 prosenttia käyttäytyi epäjohdonmukaisesti eli hyväksyi lyhyemmän aikavälin kuin aiemmin hylkäsi.

Myös Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä kerätystä ohitusaineistosta tutkittiin hyväksytyjen aikavälien pituuksien yhteyttä ohittajien ohitusten aikaisiin nopeuksiin sekä vastaantulevan liikenteen määrään. HCT-yhdistelmän ohittajien keskinopeuksien todettiin korreloivan tilastollisesti merkitsevästi hyväksytyn aikavälin pituuden kanssa ($p < 0,001$). Pearsonin korrelaatiokertoimen arvo oli $-0,325$, eli hyväksytyn aikavälin arvo selitti noin 11 % ohittajien nopeuksista ohitusten aikana. Korrelaation arvo on negatiivinen, eli mitä lyhyemmän aikavälin ohittaja hyväksyi, sitä suurempi oli tämän nopeus ohituksen aikana. Verrokkiyhdistelmän ohituksissa vastaavaa tilastollista yhteyttä ohittajien nopeuksien ja hyväksytyjen aikavälien välillä ei havaittu.

Kummankaan ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa ei havaittu, että ohitusta edeltäneen viiden minuutin aikana laskettu vastaantulevien ajoneuvojen määrä olisi korreloinut hyväksytyn ohitusaikavälin pituuden kanssa. Tuntiliikennemääräksi muutettuna vastaantulevan liikenteen määrä ohitusta edeltäneiden viiden minuutin aikana oli HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin 131 ajoneuvoa tunnissa ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa keskimäärin 154 ajoneuvoa tunnissa. Vastaantulevien ajoneuvojen keskimääräinen aikaväli oli siis HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 27 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 23 sekuntia.

Kuten kahdella muullakin reitillä, myös Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä suurimmassa osassa ohituksia vastaantulevia ajoneuvoja ei ollut näkyvissä ohituksen alkaessa, vaan ohitusnäkemää rajoitti maastoeste. Ohitusnäkemän keski- ja mediaaniarvoja sekä keskihajonnan arvoja on listattu taulukkoon 6.40.

Taulukko 6.40. Ohituksen alkuhetkellä vallinneen näkemän keski- ja mediaaniarvoja sekä ohitusnäkemän keskihajonnan arvoja reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:linnaan	Verrokki, S:linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Ohitusnäkemän keskiarvo [m]	872	803	898	771	887	793
Ohitusnäkemän mediaani [m]	863	783	860	739	860	770
Ohitusnäkemän keskihajonta [m]	265	213	284	251	276	225

Taulukosta 6.40 nähdään, että ohitusnäkemän pituus HCT-yhdistelmän ohituksissa oli keskimäärin 887 metriä ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa vajaat sata metriä vähemmän eli keskimäärin 793 metriä. Ohitusnäkemien mediaaniarvot ovat hieman edellä mainittuja keskiarvoja lyhyempiä, mutta ajoneuvoyhdistelmien välinen ero on samaa suuruusluokkaa.

Reitit yhdessä tarkasteltuna

Kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista tutkittiin hyväksytyjen sekä pisimpien hylättyjen aikavälien pituuksia. Näitä lähtötietoina käyttämällä laskettiin kriittisen aikavälin pituus kunkin yhdistelmän ohituksissa käyttäen suurimman uskottavuuden estimointimenetelmää. Kullakin reitillä tutkittiin lisäksi tilastollisin testein, havaitaanko hyväksytyn ohitusaikavälin ja ohittajien nopeuksien välillä sekä hyväksytyn ohitusaikavälin ja vastaantulevan liikenteen määrän välillä korrelaatiota.

Hyväksytyn ohitusaikavälin keskiarvo HCT-yhdistelmien ohituksissa vaihteli suunta-kohtaisesti välillä 33,6–37,9 sekuntia. Hyväksytyn ohitusaikavälin keskiarvo oli lyhimmillään Rovaniemen suuntaan ajaneen Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmän ohituksissa ja pisimmillään Vantaan suuntaan ajaneen Mikko Niskala Oy:n HCT-yhdistelmän ohituksissa. Verrokkiyhdistelmien ohituksissa hyväksytyn ohitusaikavälin keskiarvo vaihteli suunta-kohtaisesti välillä 29,0–40,9 sekuntia. Lyhimmillään hyväksytyn ohitusaikavälin keskiarvo oli Savonlinnan suuntaan ajaneen Kuljetus Szepaniak Oy:n verrokkiyhdistelmän ohituksissa ja pisimmillään Kempeleen suuntaan ajaneen Mikko Niskala Oy:n verrokkiyhdistelmän ohituksissa. HCT-yhdistelmän ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvot olivat keskimäärin hieman pidempiä kuin verrokkiyhdistelmän ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvot. Suurimmat hyväksytyjen aikavälien erot HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä havaittiin reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna, ja tämä oli myös ainoa reitti, jossa hyväksytyjen aikavälien keskiarvojen ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä todettiin tilastollisesti merkitseväksi.

Pisimpien hylättyjen aikavälien keskiarvo HCT-yhdistelmien ohituksissa vaihteli puolestaan välillä 14,4–18,0 sekuntia. Sekä lyhyin että pisin keskiarvo havaittiin Rovaniemen ja Ivalon väliseltä reitiltä; pisin arvo Ivaloon ajettaessa ja lyhyin arvo Rovaniemelle ajettaessa. Verrokkiyhdistelmien ohituksissa pisimpien hylättyjen aikavälien keskiarvo vaihteli välillä 10,7–17,8 sekuntia. Kaikilla reiteillä HCT-yhdistelmien ohittajien hylkäämien pisimpien aikavälien keskiarvo oli molemmissa tarkastelusuunnissa suurempi kuin verrokkiyhdistelmien ohittajien tapauksessa. Suurimmat erot HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohittajien hylkäämien pisimpien aikavälien keskiarvoissa havaittiin Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä, mutta millään tutkituista kolmesta reitistä keskiarvojen ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää.

Hyväksytyjen ja pisimpien hylättyjen aikavälien arvoja käytettiin lähtötietoina kunkin ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseksi vaadittavan kriittisen aikavälin laskemiseksi. HCT-yhdistelmien ohituksissa kriittisen aikavälin arvo vaihteli välillä 25,0–27,6 sekuntia. Lyhyin kriittisen aikavälin arvo havaittiin Rovaniemen suuntaan ajaneen Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmän ohituksissa ja pisin kriittisen aikavälin arvo puolestaan Vantaalle ajaneen Mikko Niskala Oy:n HCT-yhdistelmän ohituksissa. Verrokkiyhdistelmien ohituksissa kriittisen aikavälin arvo vaihteli puolestaan välillä 21,8–26,1 sekuntia. Kaikilla reiteillä kriittisen aikavälin arvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Suurin kriittisten aikavälien ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä havaittiin reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna (4,6 s) ja pienin ero puolestaan reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi (1,3 s). Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä oli 3,0 sekuntia.

Kaikilla reiteillä sellaisia ohituksia, joissa ohittajat eivät hylänneet yhtään aikaväliä, oli noin 42–46 % kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista. Tämä osuus sisälsi lentävät ohitukset, jono-ohitukset sekä sellaiset kiihdytysohitukset, joissa jonotus tapahtui kokonaisuudessaan ohituskiettoalueella. Epäjohdonmukaisesti käyttäytyneiden ohittajien osuus puolestaan vaihteli välillä 9,1–21,6 %. Epäjohdonmukaisesti käyttäytyneet ohittajat hyväksyivät ohitusaikaväliksi lyhyemmän aikavälin, kuin olivat aiemmin hylänneet. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä epäjohdonmukaisesti käyttäytyneitä ohittajia oli suhteellisesti enemmän HCT-yhdistelmän kuin verrokkiyhdistelmän ohittajista. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä epäjohdonmukaisesti käyttäytyneitä kuljettajia oli suhteellisesti suurempi osuus verrokkiyhdistelmän ohittajista. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä epäjohdonmukaisesti käyttäytyneiden ohittajien suhteellisessa osuudessa ei ollut merkittävää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä. Näiden havaintojen perusteella ei siis voida sanoa, että HCT-yhdistelmien ohittajat olisivat käyttäytyneet epäjohdonmukaisemmin kuin verrokkiyhdistelmien ohittajat tai toisinpäin.

Aineistosta tutkittiin myös, havaitaanko hyväksytyjen ohitusaikavälien pituuden ja muiden tutkittujen suureiden välillä yhteyttä. Ensin tutkittiin, havaitaanko ohittajien nopeuden riippuvan hyväksytyn ohitusaikavälin pituudesta. Taustaoletuksena oli, että lyhyemmän ohitusaikavälin hyväksyneet ohittajat saattavat käyttää ohituksissa suurempia nopeuksia. Reiteillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi ja Kempele–Vantaa–Kempele tällaista korrelaatiota ei kuitenkaan havaittu. Ainoastaan Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän ohituksissa Savonlinnan ja Lappeenrannan välillä todettiin tilastollisesti merkitsevä negatiivinen korrelaatio ohitusaikavälin pituuden ja ohittajan nopeuden välillä. Ohitusaikavälin kasvaessa todettiin ohittajien nopeuksien laskevan, ja ohitusaikavälin todettiin selittävän noin 11 % ohittajien nopeuksista.

Kustakin ohituksesta laskettiin, mikä oli vastaantulevan liikenteen määrä ohitusta edeltäneiden viiden minuutin aikana ja muutettiin tämä liikennemäärä tuntiliikennemääräksi. Pearsonin korrelaatiotarkasteluin tutkittiin, havaitaanko vastaantulevan liikenteen määrällä ja hyväksytyn ohitusaikavälin pituudella tilastollista yhteyttä. Oletuksena oli, että vastaantulevan liikennemäärän kasvaessa ohittajat saattavat olla valmiita hyväksymään lyhyempiä aikavälejä ohittaakseen edellä ajavan yhdistelmän. Millään tutkituista kolmesta reitistä tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota näiden suureiden välillä ei kuitenkaan havaittu. Vastaantulevan liikenteen määrä oli vähäisin Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä; kummankin yhdistelmän ohituksissa keskimäärin noin 50 ajoneuvoa tunnissa. Eniten vastaantulevaa liikennettä oli puolestaan Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä; HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin 187 ajoneuvoa tunnissa ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa keskimäärin 144 ajoneuvoa tunnissa. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä vastaavat luvut olivat HCT-yhdistelmän ohituksissa 131 ajoneuvoa tunnissa ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 154 ajoneuvoa tunnissa.

Kaikilla kolmella reitillä suurin osa ohituksista oli sellaisia, joissa vastaantulevia ajoneuvoja ei ollut näkyvissä ohituksen alkaessa, vaan ohitusnäkemää rajoitti maastoeste, kuten tienmutka tai mäenharjanne. Niinpä hyväksytyn ohitusaikavälin lisäksi laskettiin, kuinka pitkä oli ohitusnäkemän arvo ohitusten alkaessa. HCT-yhdistelmän ohituksissa ohitusnäkemäpituuden keskiarvo vaihteli välillä 872–1016 metriä, kun verrokkiyhdistelmän ohituksissa ohitusnäkemäpituuden keskiarvo vaihteli puolestaan välillä 771–1115 metriä. Ohitusnäkemän keskiarvot olivat lyhimmillään Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä ja pisimmillään Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä. HCT- ja verrokkiyhdistelmien väliset erot ohitusnäkemäpituuden keskiarvoissa olivat

suurimmillaan Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä ja pienimmillään Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä.

6.6 Turva-aikojen pituus

Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Ohitusturvallisuutta tutkittiin mittaamalla ohitusten turva-aikoja. Kuten luvussa 5.4 esitettiin, turva-ajalla tarkoitettiin tämän työn yhteydessä sitä aikaa, joka kului ohituksen päättymisestä siihen hetkeen, jolloin ohittanut ajoneuvo kohtasi ensimmäisen vastaan tulevan ajoneuvon. Ohituksen päättymishetki puolestaan määriteltiin hetkeksi, jolloin ohittavan ajoneuvon perän ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nokan välinen etäisyys oli viisi metriä. Taulukossa 6.41 on esitetty kaikkien kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten turva-aikojen pituuden keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä turva-aikojen keskihajonnan arvoja. Taulukossa 6.42 on esitetty vastaavat arvot vain niistä ohituksista, joissa vastaan tuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa.

Taulukko 6.41. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa mitattujen turva-aikojen keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä lyhyiden turva-aikojen suhteellinen osuus kaikista mitatuista turva-ajoista reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Turva-aikojen keskiarvo [s]	67,0	70,9	55,1	53,4	59,7	58,8
Turva-aikojen mediaani [s]	43,5	40,0	38,0	27,5	39,5	31,0
Turva-aikojen keskihajonta [s]	58,4	70,2	55,6	58,6	57,0	62,9
Lyhin turva-aika [s]	5,0	5,0	3,0	4,0	3,0	4,0
Alle 11 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	3,3	11,8	11,9	13,2	8,6	12,7
Alle 4 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	0,0	0,0	0,7	0,0	0,4	0,0
Ohitusten määrä [kpl]	90	51	143	114	233	165

Taulukko 6.42. Turva-aikojen keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä lyhyiden turva-aikojen suhteellinen osuus niissä kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa, joissa vastaantulija oli näkyvissä ohituksen alkaessa.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Turva-aikojen keskiarvo [s]	17,0	6,7	9,3	11,1	11,0	9,8
Turva-aikojen mediaani [s]	17,0	6,0	9,0	11,0	10,0	10,0
Turva-aikojen keskihajonta [s]	1,0	1,7	4,5	2,3	5,1	3,0
Lyhin turva-aika [s]	16,0	5,0	3,0	7,0	3,0	5,0
Alle 11 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	0,0	100	71,4	42,9	55,6	50,0
Alle 4 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	0,0	0,0	14,3	0,0	11,1	0,0
Ohitusten määrä [kpl]	2	3	7	7	9	10

Taulukon 6.41 arvoista nähdään, että sekä turva-aikojen keski- että mediaaniarvot olivat kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa verrattain pitkiä. Ivalon suuntaan ajaneiden tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksista mitattujen turva-aikojen keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 67,0 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 70,9 sekuntia. Keskiarvoissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa riippumattomien otosten t-testissä. Turva-aikojen mediaani oli tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa 43,5 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 40 sekuntia. Tyhjänä Ivaloon ajaneiden ajoneuvoyhdistelmien ohituksia tarkasteltaessa lyhin turva-aika oli 5 sekuntia kummankin yhdistelmän tapauksessa. 10 sekunnin mittaisten tai sitä lyhyempien turva-aikojen osuus oli tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista 3,3 prosenttia ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksista 11,8 prosenttia. Hyvin lyhyiksi turva-ajoiksi määriteltäviä alle neljän sekunnin mittaisia turva-aikoja ei tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa havaittu.

Rovaniemen suuntaan ajaneiden kuormattujen yhdistelmien ohituksissa havaitut turva-ajat olivat sekä keski- että mediaaniarvoiltaan hieman lyhyempiä: turva-ajan keskiarvo oli kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa 55,1 sekuntia ja kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksissa 53,4 sekuntia. Myöskään kuormattujen yhdistelmien tapauksessa turva-aikojen keskiarvot eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Turva-aikojen mediaaniarvo oli puolestaan HCT-yhdistelmän ohituksissa 38 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 27,5 sekuntia. 10 sekunnin mittaisten tai sitä lyhyempien turva-aikojen osuus oli HCT-yhdistelmän ohituksista 11,9 prosenttia ja verrokkiyhdistelmän ohituksista 13,2 prosenttia. Alle neljän sekunnin mittaisia

turva-aikoja havaittiin kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa yksi kappale, verrokkiyhdistelmän ohituksissa ei yhtäkään. Kyseisessä HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksessa ei kuitenkaan havaittu mainittavaa onnettomuusriskiä, eikä vastaantuleva ajoneuvo joutunut väistämään ohittajaa pientareelle.

Turva-aikojen voidaan olettaa lyhenevän, kun liikennemäärät kasvavat. Niinpä turva-aikojen pituuksien ja vastaantulevan kaistan liikennemäärän välistä riippuvuutta tutkittiin Pearsonin korrelaatiotarkasteluiden avulla. Ohitusta edeltäneen viiden minuutin aikajakson aikana lasketun vastaantulevan liikenteen määrän havaittiin korreloivan tilastollisesti merkitsevästi turva-ajan pituuteen. Korrelaatio oli tilastollisesti merkitsevä (riskitaso $p < 0,05$) kummassakin tarkastelusuunnassa. Kuten oletettiin, korrelaatio oli negatiivinen, eli turva-aikojen havaittiin lyhenevän vastaantulevan liikenteen määrän kasvaessa. Ivalon suuntaan ajaneen verrokkiyhdistelmän ohituksissa liikennemäärän selitysaste turva-aikojen pituudesta oli noin 14 %. Muissa tapauksissa selitysaste vaihteli viiden ja kuuden prosentin välillä.

Taulukossa 6.42 on esitetty turva-ajoina laskettuja tilastollisia tunnuslukuja vain niistä kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista, joissa vastaantulija oli näkyvissä ohituksen alkaessa. Kuten taulukossa 6.1 esitettiin, näitä ohituksia oli huomattavan pieni osa Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista: HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista noin neljä ja verrokkiyhdistelmän ohituksista noin kuusi prosenttia. Näissä ohituksissa turva-ajat olivat sekä keski- että mediaaniarvoiltaan huomattavasti lyhyempiä kuin kaikista ohituksista lasketut vastaavat arvot. Havaintojen määrä oli kuitenkin niin vähäinen, ettei lukujen vertaaminen ajoneuvoyhdistelmien välillä ole mielekäästä. Luvuissa 6.5 ja 6.6 esitettyjen tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että Rovaniemen ja Ivalon väliseltä reitiltä analysoidussa aineistossa ohittamaan pyrkivät olivat yleensä haluttomampia aloittamaan ohituksen, mikäli vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä. Ilmiö oli nähtävissä myös niissä ohituspäätöksissä, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli hyvinkin pitkän etäisyyden päässä. Ilmiö havaittiin sekä HCT- että verrokkiyhdistelmän tuottamassa materiaalissa.

Kempele–Vantaa–Kempele

Taulukkoon 6.43 on listattu Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten turva-aikojen keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä turva-aikojen pituuden keskihajonnan arvoja. Taulukkoon 6.44 on listattu vastaavat arvot vain niistä ohituksista, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa.

Taulukko 6.43. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa mitattujen turva-aikojen keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä lyhyiden turva-aikojen suhteellinen osuus kaikista mitatuista turva-ajoista reitillä Kempele–Vantaa–Kempele.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Turva-aikojen keskiarvo [s]	18,5	27,3	21,8	61,6	19,9	40,0
Turva-aikojen mediaani [s]	15,0	18,0	16,0	36,5	15,0	20,5
Turva-aikojen keskihajonta [s]	13,4	29,9	18,8	75,6	15,9	54,4
Lyhin turva-aika [s]	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0
Alle 11 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	29,5	26,8	32,7	12,1	30,8	21,3
Alle 4 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	3,6	2,7	1,0	3,0	2,5	2,8
Ohitusten määrä [kpl]	139	112	98	66	237	178

Taulukko 6.44. Turva-aikojen keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä lyhyiden turva-aikojen suhteellinen osuus niissä kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa, joissa vastaantulija oli näkyvissä ohituksen alkaessa.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Turva-aikojen keskiarvo [s]	10,1	11,8	9,3	8,3	9,7	11,4
Turva-aikojen mediaani [s]	9,0	10,0	9,0	9,0	9,0	10,0
Turva-aikojen keskihajonta [s]	5,5	7,8	4,8	4,1	5,2	7,5
Lyhin turva-aika [s]	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0
Alle 11 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	53,8	54,5	73,3	66,7	62,3	56,0
Alle 4 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	10,3	9,1	3,3	33,3	7,2	12,0
Ohitusten määrä [kpl]	39	22	30	3	69	25

Taulukosta 6.43 nähdään, että turva-aikojen keskiarvo oli Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin noin 20 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa keskimäärin noin 40 sekuntia. HCT- ja verrokkiyhdistelmän välinen ero turva-aikojen keskiarvoissa todettiin tilastollisesti erittäin merkitseväksi. HCT-yhdistelmän tapauksessa turva-ajoissa ei ollut suurta eroa tarkastelusuuntien välillä, kun taas verrokkiyhdistelmän tapauksessa turva-aikojen keskiarvo oli Kempeleen ajettaessa yli 60 sekuntia eli yli kaksi kertaa niin pitkä kuin Vantaalle ajettaessa. Kaikissa tapauksissa turva-aikojen mediaaniarvot olivat edellä esitettyjä keskiarvoja pienempiä, ja ajoneuvoyhdistelmien väliset erot turva-aikojen mediaaneissa olivat myös keskiarvojen eroja pienempiä.

Korkeintaan kymmenen sekuntia pitkien turva-aikojen osuus oli HCT-yhdistelmän ohituksista noin 31 prosenttia ja verrokkiyhdistelmän ohituksista noin 21 prosenttia. Ohituksia, joissa turva-aika oli hyvin lyhyt eli alle neljän sekunnin mittainen, havaittiin HCT-yhdistelmän materiaalissa kuusi kappaletta (2,5 %) ja verrokkiyhdistelmän materiaalissa viisi kappaletta (2,5 %). Yhdessä HCT-yhdistelmän ohituksessa HCT-yhdistelmän kuljettaja edesauttoi ohituksen loppuunsaattamista jarruttamalla hieman ohituksen aikana. Erityisiä läheltä piti -tilanteita lyhyiden turva-aikojen ohituksissa ei kuitenkaan havaittu, eikä vastaantulijoiden esimerkiksi nähty väistäneen ohittajia pientareelle.

Myös Kempeleen ja Vantaan väliseltä reitiltä kerätystä ohitusaineistosta tutkittiin vastaantulevan liikennemäärän ja turva-aikojen korrelaatiota. Vastaantulevan kaistan liikennemäärällä ja turva-aikojen pituudella todettiin sekä HCT- että verrokkiyhdistelmän ohituksissa tilastollisesti erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio. Vastaantuleva liikennemäärä selitti turva-aikojen pituudesta noin viisi prosenttia HCT-yhdistelmän ohituksissa ja noin 16 prosenttia verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Negatiivinen korrelaatio tarkoittaa, että turva-ajat lyhenivät vastaantulevan liikennemäärän kasvaessa.

Taulukossa 6.44 on esitetty turva-ajoista laskettuja tilastollisia tunnuslukuja vain niistä kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa. Kuten taulukossa 6.3 esitettiin, tällaisia ohituksia oli Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohituksista noin 29 prosenttia ja verrokkiyhdistelmän ohituksista noin 14 prosenttia. Näissä ohituksissa turva-ajat olivat keski- ja mediaaniarvoiltaan merkittävästi lyhyempiä kuin kaikissa kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa; turva-aikojen keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 10 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 11 sekuntia. Riippumattomien otosten t-testillä todettiin, ettei turva-aikojen keskiarvojen ero ollut tilastollisesti merkitsevä.

Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Taulukossa 6.45 on esitetty Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten turva-aikojen keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä turva-aikojen pituuden keskihajonnan arvoja. Taulukkoon 6.46 on puolestaan listattu vastaavat tilastolliset tunnusluvut vain niistä ohituksista, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa.

Taulukko 6.45. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa mitattujen turva-aikojen keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä lyhyiden turva-aikojen suhteellinen osuus kaikista mitatuista turva-ajoista reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:linnaan	Verrokki, S:linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Turva-aikojen keskiarvo [s]	25,1	25,8	25,5	18,3	25,3	23,5
Turva-aikojen mediaani [s]	18,0	18,0	17,0	15,0	17,5	17,0
Turva-aikojen keskihajonta [s]	20,4	20,3	29,6	12,0	25,9	18,5
Lyhin turva-aika [s]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Alle 11 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	24,4	28,3	24,5	25,5	24,4	24,5
Alle 4 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	2,6	0,9	1,0	2,1	1,7	1,3
Ohitusten määrä [kpl]	78	106	98	47	176	153

Taulukko 6.46. Turva-aikojen keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä lyhyiden turva-aikojen suhteellinen osuus niissä kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa, joissa vastaantulija oli näkyvissä ohituksen alkaessa.”

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:linnaan	Verrokki, S:linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Turva-aikojen keskiarvo [s]	9,3	6,6	10,7	9,6	10,2	7,7
Turva-aikojen mediaani [s]	9,0	6,5	9,0	9,0	9,0	7,0
Turva-aikojen keskihajonta [s]	6,7	2,1	7,7	2,2	7,4	2,6
Lyhin turva-aika [s]	2,0	4,0	2,0	7,0	2,0	4,0
Alle 11 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	66,7	91,7	61,1	57,1	63,0	78,9
Alle 4 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	22,2	0,0	5,6	0,0	11,1	0,0
Ohitusten määrä [kpl]	9	12	18	7	27	19

Taulukosta 6.45 havaitaan, että turva-aikojen keskiarvo oli Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 25 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 24 sekuntia. Turva-aikojen keskiarvojen ei todettu eroavan toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. HCT-yhdistelmän tapauksessa tarkastelusuuntien välillä ei havaittu juurikaan eroa turva-ajan pituuksien keskiarvoissa, mutta verrokkiyhdistelmän tapauksessa turva-ajat olivat Savonlinnan suuntaan ajettaessa keskiarvoltaan 7,5 sekuntia lyhyempiä kuin Lappeenrannan suuntaan ajettaessa. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa tarkastelusuuntien välinen ero turva-aikojen keskiarvoissa todettiin myös tilastollisesti merkitseväksi ($p < 0,01$). Turva-aikojen mediaaniarvot olivat merkittävästi edellä mainittuja keskiarvoja lyhyempiä: HCT-yhdistelmän ohituksissa turva-aikojen mediaani oli noin 18 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 17 sekuntia.

Enintään kymmenen sekunnin mittaisia turva-aikoja oli kummankin yhdistelmän ohituksista noin neljäsosa. Hyvin lyhyiksi luokiteltavia, enintään kolmen sekunnin mittaisia turva-aikoja havaittiin HCT-yhdistelmän aineistossa kolme kappaletta (noin 2 %) ja verrokkiyhdistelmän aineistossa kaksi kappaletta (noin 1 %). Yhdessä HCT-yhdistelmän ohituksessa HCT-yhdistelmän kuljettaja edisti ohituksen loppuunsaattamista jarruttamalla ohituksen aikana ja yhdessä verrokkiyhdistelmän ohituksessa vastaantulija väisti pientareelle. Lyhyen turva-ajan ohituksille oli yhteistä se, että ne tapahtuivat verrattain lyhyen näkemän alueella, ja vastaantulija ilmestyi maastoesteen takaa pian ohituksen aloittamisen jälkeen.

Tutkittaessa vastaantulevan liikennemäärän yhteyttä ohituksissa havaittuihin turva-aikoihin, havaittiin myös Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä tilastollisesti erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio näiden suureiden välillä kummankin yhdistelmän ohituksissa. Vastaantulevan liikenteen määrä selitti turva-aikojen pituudesta noin seitsemän prosenttia HCT-yhdistelmän ohituksissa ja noin 15 prosenttia verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Kahden muun reitin tavoin myös tällä reitillä havaittiin, että turva-ajat lyhenivät vastaantulevan liikennemäärän kasvaessa.

Taulukossa 6.46 on esitetty turva-ajoista laskettuja tilastollisia tunnuslukuja sellaisista ohituksista, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa. Kuten taulukossa 6.5 esitettiin, tällaisia ohituksia oli HCT-yhdistelmän ohituksista 13 prosenttia ja verrokkiyhdistelmän ohituksista 12 prosenttia. Näissä ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa noin kymmenen sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin kahdeksan sekuntia. Keskiarvot eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi riippumattomien otosten t-testin mukaan.

Kuten taulukossa 6.6 esitettiin, Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmä ja Kuljetus Sze-paniakin verrokkiyhdistelmä liikennöivät myös Lappeenrannan ja Kouvolan välisellä leveäkaistatieosuudella. Vertailukelpoista materiaalia ja siten myös ohituksia leveäkaistateiltä saatiin vain vähän. HCT-yhdistelmän materiaalista analysoitiin 40 leveäkaistatiellä tapahtunutta ohitusta ja verrokkiyhdistelmän materiaalista 18 ohitusta leveäkaistatiellä. Koska ohituskäyttäytyminen leveäkaistateilla poikkeaa jossain määrin ohituskäyttäytymisestä tavallisilla kaksikaistaisilla teillä, haluttiin myös näistä ohituksista laskea turva-aikoihin liittyviä tilastollisia tunnuslukuja. Turva-aikojen keskiarvo leveäkaistateilla tapahtuneissa ohituksissa oli HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 11 sekuntia mediaaniarvon ollessa noin kahdeksan sekuntia. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa turva-aikojen keskiarvo leveäkaistateilla tapahtuneissa ohituksissa oli puolestaan noin 21 sekuntia mediaaniarvon ollessa noin 19 sekuntia. Vastaantulevan liikenteen määrä leveäkaistatieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa oli HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 240 ajoneuvoa tunnissa ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 180 ajoneuvoa tunnissa. Liikennemäärät olivat siis suurempia kuin tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa, joten on luonnollista, että myös turva-ajat olivat lyhyempiä.

Eräs huomionarvoinen seikka leveäkaistaisilla tieosuuksilla tehtyihin ohituksiin liittyen on hyvin lyhyiden turva-aikojen määrä. Kummankin yhdistelmän tapauksessa leveäkaistateilla tapahtuneista ohituksista noin kymmenessä prosentissa ohittaja kohosi vastaantulevan ajoneuvon ennen ohituksen päättymistä, eli turva-aika oli negatiivinen. Kaikissa näistä tapauksista ohittaja ajoi osittain vastaantulevan liikenteen kaistalla kohdatessaan vastaantulijan. Havainnot osoittavat, etteivät kaikki kuljettajat tiedä tai välitä ohittamissäännoista leveäkaistateilla. Leveäkaistateilla edellä menevän ajoneuvon saa ohittaa myös silloin, kun vastaantulevien kaistalla on ajoneuvoja. Tällöin tien keskiviivaa ei kuitenkaan saa ylittää, vaan ohituksen on tapahduttava omalla kaistalla.

Reitit yhdessä tarkasteltuna

Ohitusturvallisuutta tutkittiin mittaamalla ohitusten turva-aikoja. Turva-ajalla tarkoitettiin sitä aikaa, joka kului ohituksen päättymisestä siihen hetkeen, jolloin ohittanut ajoneuvo kohtasi ensimmäisen vastaantulevan ajoneuvon. Ohituksen päättymishetki puolestaan määriteltiin hetkeksi, jolloin ohittavan ajoneuvon perän ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nokan välinen etäisyys oli viisi metriä.

Kaikilla reiteillä havaittiin, että turva-aikojen pituuden ja vastaantulevan liikenteen määrällä oli tilastollisesti erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio; vastaantulevan liikenteen määrän kasvaessa turva-ajat lyhenivät. Niinpä pisimmät turva-ajat havaittiin liikennemäärältään vähäisimmällä Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä. Kyseisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli noin 60 sekuntia ja mediaani noin 40 sekuntia. Verrokkiyhdistelmän ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli noin 59 sekuntia ja mediaani noin 31 sekuntia. Kahdella muulla reitillä turva-ajat olivat suurempien liikennemäärien vuoksi merkittävästi lyhyempiä: Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli noin 20 sekuntia ja mediaani noin 15 sekuntia. Verrokkiyhdistelmän ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli noin 40 sekuntia ja mediaani noin 21 sekuntia. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli noin 25 sekuntia ja mediaani noin 18 sekuntia. Verrokkiyhdistelmän ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli noin 24 sekuntia ja mediaani noin 17 sekuntia. Rovaniemen ja Ivalon sekä Savonlinnan ja Lappeenrannan välisillä reiteillä turva-ajat HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Ainoastaan Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä turva-aikojen keskiarvojen ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä todettiin tilastollisesti merkitseväksi. Toisaalta myös vastaantulevan liikennemäärän keskiarvossa oli tällä reitillä merkittävä yhdistelmien välinen ero: vastaantulevan liikenteen määrän keskiarvo oli 187 ajoneuvoa tunnissa HCT-yhdistelmän ohituksissa ja 144 ajoneuvoa tunnissa verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Verrokkiyhdistelmän aineistossa oli myös enemmän myöhään illalla ja yöllä tapahtuneita ohituksia, joissa turva-ajat olivat huomattavan pitkiä. Nämä pitkät turva-ajat kasvattivat turva-aikojen keskiarvoa merkittävästi.

Kaikilla reiteillä todettiin, että ohittamaan pyrkivät kuljettajat olivat yleensä haluttomampia suorittamaan ohituksia, mikäli vastaantulevia ajoneuvoja oli näkyvissä. Niinpä valtaosa ohituksista oli sellaisia, joissa vastaantulevia ajoneuvoja ei ollut näkyvissä ohituksen alkaessa. Turva-aikoja niissä ohituksissa, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohitusten alkaessa, tutkittiin kullakin reitillä erikseen. Tällaisissa ohituksissa turva-ajat olivat luonnollisesti keskimäärin merkittävästi lyhyempiä kuin muissa ohituksissa. Rovaniemen ja Ivalon välillä turva-aikojen keskiarvo näissä ohituksissa oli HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 11 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 10 sekuntia. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä turva-aikojen keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 10 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 11 sekuntia. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä turva-aikojen keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 10 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 8 sekuntia. Mediaaniarvot olivat keskimäärin noin sekunnin edellä esitettyjä keskiarvoja matalampia. Kun tarkastellaan vain ohituksia, joissa vastaantulija oli näkyvissä ohituksen alkaessa, eivät turva-aikojen pituudet eronneet millään reitillä tilastollisesti merkitsevästi HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä. Edellä esitetyistä luvuista huomataan myös, että reittien väliset erot turva-aikojen pituuksissa olivat hyvin pieniä.

Hyvin lyhyiksi turva-ajoiksi luokiteltiin alle neljän sekunnin pituiset turva-ajat. Tällaisia hyvin lyhyitä turva-aikoja havaittiin kaikista tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista yhteensä 16 kappaletta eli niiden osuus kaikista turva-ajoista oli 1,4 %. Näistä HCT-yhdistelmien ohituksia oli yhdeksän ja verrokkiyhdistelmien ohituksia seitsemän kappaletta. Lyhyitä turva-aikoja havaittiin suhteellisesti vähiten (1 kpl) Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä ja suhteellisesti eniten (11 kpl) Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä. Loput neljä lyhyen turva-ajan ohitusta tapahtuivat Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä. Vaikka kyseisissä ohituksissa turva-

aika oli lyhyt, ei kohtaamisonnettomuuden tai muunlaisen onnettomuuden katsottu olleen hyvin lähellä tapahtua. Kahdessa HCT-yhdistelmän ohituksessa yhdistelmien kuljettajat edesauttoivat ohituksen loppuunsaattamista hidastamalla vauhtiaan ja yhdessä verrokkiyhdistelmän ohituksessa vastaantulevan ajoneuvon havaittiin väistyneen ohittajaa pientareelle. Voimakkaita jarrutuksia tai äkkinäisiä väistöliikkeitä ei kuitenkaan havaittu. Ohitukset, joissa turva-aika jäi lyhyeksi, tapahtuivat yleensä tienkohdissa, joissa näkemä oli maastoesteiden vuoksi verrattain lyhyt, ja ohituksen aikana maastoesteiden takaa ilmestyi vastaantuleva ajoneuvo.

Kuten edellä todettiin, turva-aikojen ja vastaantulevan liikenteen määrän välillä todettiin tilastollisesti erittäin merkitsevä korrelaatio. Niinpä reittien ja ajoneuvoyhdistelmien väliset erot turva-aikojen pituuksissa ovat selitettävissä suurelta osin liikennemäärien eroilla. Erityisesti tulokset sellaisista ohituksista, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa, osoittavat, etteivät turva-ajat HCT- ja verrokkiyhdistelmien välillä eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Tässä työssä saatujen tulosten perusteella ei siis näytä siltä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohitusturvallisuudessa olisi ollut puutteita tavallisten ajoneuvoyhdistelmien ohitusturvallisuuteen verrattuna.

Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän ja Kuljetus Szepaniakin verrokkiyhdistelmän reiteiltä saatiin jonkin verran materiaalia myös leveäkaistaisilta tieosuuksilta. Vaikka materiaalin määrän vähäisyyden vuoksi leveäkaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneita ohituksia saatiin analysoida verrattain vähän, antavat tulokset viitteitä siitä, että leveäkaistateilla ohituskäyttäytyminen ja mahdollisesti myös ohitusturvallisuus poikkeavat normaaleista kaksikaistaisista teistä. Huomionarvoisin havainto leveäkaistateiden teiden ohitusturvallisuuteen liittyen oli negatiivisten turva-aikojen määrä. Noin kymmenessä prosentissa leveäkaistateilla tapahtuneissa ohituksissa ohittaja kohtasi vastaantulijan ennen ohituksen päättymistä ja omalle kaistalleen palaamista. Leveäkaistaisilla teillä ohitukset tulisi suorittaa niin, että tien keskiviivaa ei ylitetä, mikäli vastaantulevan liikenteen kaistalla on ajoneuvoja. Havainnot osoittavat, etteivät ohitusperiaatteet leveäkaistateilla ole kaikille tuttuja tai periaatteiden noudattamisessa on parantamisen varaa.

6.7 Muita havaintoja ohitukseen liittyen

Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Videomateriaalin perusteella pyrittiin havainnoimaan myös muita kuin edellisissä aliluissa mainittuja tekijöitä ohitukseen liittyen. Tarkoituksena oli selvittää, havaitaanko materiaalissa esimerkiksi keskeytyneitä ohituksia, hyvin lyhyitä turva-aikoja, ohituksia ohituskieltoalueilla tai muita ohitustilanteisiin liittyviä rikkeitä tai vaaratilanteita.

Koska ohituksen alkuhetki voidaan määritellä monella tavalla, ei myöskään keskeytyneen ohituksen määrittely ole yksiselitteistä. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä sekä HCT- että verrokkiyhdistelmän tuottamassa materiaalissa havaittiin muutamia tapauksia, joissa ohittamaan pyrkivä ajoneuvo siirtyi osittain vastaantulevan liikenteen kaistalle, mutta palasi lähes välittömästi omalle kaistalleen havaittuaan vastaantulevan ajoneuvon. Yhdessäkään tapauksista ohittamaan pyrkivä ajoneuvo ei siis ehtinyt kiihdyttää havaittavasti eikä siten siirtynyt edellä ajavan ajoneuvoyhdistelmän rinnalle edes osittain. Kyseisissä tapauksissa ajoneuvoyhdistelmien takana ajavat kuljettajat todennäköisesti pyrkivät tarkastamaan, onko vastaantulevien kaistalla ajoneuvoja, eivätkä olleet vielä tehneet varsinaista päätöstä ohitukseen lähtemisestä. Tapauksia ei

siis luokiteltu keskeytyneiksi ohituksiksi, ja todettiin, että sellaisia ei Rovaniemen ja Ivalon väliseltä reitiltä analysoidussa materiaalissa havaittu.

Kuten aliluvussa 6.6 todettiin, olivat turva-ajat reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi keskimäärin hyvin pitkiä. Yhdessäkään analysoiduista ohituksista ei havaittu, että ohitettava ajoneuvoyhdistelmä tai vastaantuleva ajoneuvo olisivat joutuneet väistämään pientareelle tai hidastamaan nopeuttaan merkittävästi edesauttaakseen ohituksen turvallista loppuun saattamista. Ohittajien ylinopeudet olivat yleisiä kummankin yhdistelmän ohituksissa, eikä niiden esiintymistiheydessä tai suuruuksissa havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa yhdistelmien välillä. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän ohituksista osa oli sellaisia, joissa ohitus tapahtui joko kokonaan tai osittain ohituskieltoalueella. Ohituskieltoalueeksi katsottiin keltaisella sulkuviivalla tai ohittamisen kieltävällä liikennemerkillä osoitettu alue. Ohituksia, jotka tapahtuivat kokonaan tai osittain ohituskieltoalueella, oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista yhdeksän kappaletta ja verrokkiyhdistelmän ohituksista kolme kappaletta. Lisäksi osassa ohituksia ohitus aloitettiin tai se päättyi keltaisen katkoviivan alueella. Keltaisella katkoviivalla ilmoitetaan alkavasta keltaisesta sulkuviivasta. Keltaisen katkoviivan alueella ohitusta ei enää tule aloittaa tai jo aloitettu ohitus on joko keskeytettävä tai saatettava mahdollisimman nopeasti loppuun. Ohituksia, joissa ylitettiin keltainen katkoviiva, muttei keltaista sulkuviivaa, oli HCT-yhdistelmän ohituksista kaksi kappaletta. Verrokkiyhdistelmän tuotamassa materiaalissa tällaisia ohituksia ei havaittu.

Rovaniemen ja Ivalon väliltä analysoidun materiaalin eniten tavallisuudesta poikkeava havainto tehtiin 2+2-kaistaisella, yksiajorataisella Vuojärven varalaskupaikalla Sodankylän eteläpuolella. Tilanteessa kolme ajoneuvoyhdistelmää ajoi peräkkäin, ja näiden takana jonossa oli vielä kaksi henkilöautoa. Jonon ensimmäisenä ajoneuvona ajoi Ketosen Kuljetuksen HCT-ajoneuvoyhdistelmä ja jonon toisena ajoneuvona oli Ketosen Kuljetuksen verrokkiyhdistelmä. Kolmantena jonossa ajanut kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun muodostama ajoneuvoyhdistelmä lähti ohittamaan edellä ajaneita ajoneuvoyhdistelmiä 2+2-kaistaiselle tieosuudelle saavuttuaan. Ohittavan ajoneuvoyhdistelmän nopeuden ollessa vain hieman ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien nopeutta suurempi, ohitukseen kului lähes koko kahden kilometrin mittainen 2+2-kaistainen tieosuus. Varalaskupaikan loppupäässä jonon perällä ajaneet kaksi henkilöautoa lähtivät ohittamaan edellä ajaneita kolmea ajoneuvoyhdistelmää vastaantulevan liikenteen kaistaa ajamalla, jolloin tiellä oli ohituksen ajan kolme samaan suuntaan ajavaa ajoneuvoa rinnakkain. Vastaantulevaa liikennettä ei tiellä ohituksen aikana ollut, joten erityistä vaaratilannetta ohitukseen ei liittynyt. Kuvassa 6.15 on verrokkiyhdistelmän etukameran taltioima kuva ohitustilanteesta.



Kuva 6.12. Kaksi henkilöautoa ohittamassa Ketosen Kuljetuksen verrokki- ja HCT-yhdistelmää ohittavaa ajoneuvoyhdistelmää 2+2-kaistaisella Vuojärven varalaskupaikalla.

Kempele–Vantaa–Kempele

Myös Vantaan ja Kempeleen väliseltä reitiltä kerätystä materiaalista pyrittiin havainnoimaan keskeytettyjä ohituksia, vaaratilanteita, rikkeitä ja muita tavallisuudesta poikkeavia tapahtumia ohitustilanteisiin liittyen. Verrokkiyhdistelmän materiaalissa yhtään keskeytettyä ohitusta ei havaittu. HCT-yhdistelmän materiaalissa havaittiin yksi ohitusyritys, joka selvästi voidaan luokitella keskeytyneeksi ohitukseksi. Ohittaja kiihdytti HCT-yhdistelmän taaemman perävaunun rinnalle, mutta jarrutti ja palasi HCT-yhdistelmän taakse havaittuaan ohitusaikavälin liian pieneksi. Vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa, mutta ohittaja ei mahdollisesti huomannut sitä tai arvioi välimatkan todellista pidemmäksi. Vastaantulija siirtyi osittain pientareelle, mutta koska ohitus keskeytyi alkuvaiheessa, kohtaamisonnettomuus ei ollut erityisen lähellä.

HCT-yhdistelmän materiaalissa havaittiin lisäksi kaksi tapausta, joissa ohittaja oli todennäköisesti jo tehnyt ohituspäätöksen, siirtynyt vastaantulevan liikenteen kaistalle ja kiihdyttänyt niin, että ohittavan ajoneuvon nokka oli ohitettavan yhdistelmän perän kohdalla. Ensimmäisessä tapauksessa ohittaja keskeytti ohituksensa vastaantulevan ajoneuvon ilmestyttyä maastoesteiden takaa näkyviin. Toisessa tapauksessa ohittamaan pyrkinyt henkilöauton kuljettaja ei todennäköisesti havainnut pientareella HCT-yhdistelmän edellä ajavia polkupyöräilijöitä. Samanaikaisesti, kun ohittaja aloitti ohitusyrityksen, HCT-yhdistelmän kuljettaja siirtyi osittain vastaantulevan liikenteen kaistalle pyöräilijöitä ohittaessaan. Niinpä yhdistelmää ohittamaan pyrkinyt kuljettaja keskeytti ohitusyrityksen ajoneuvon nokan ollessa HCT-yhdistelmän perän kohdalla. Kuvasta 6.16 näkyy, että ohittamaan pyrkinyt ajoneuvo joutui siirtymään tilanteessa vastaantulevan kaistan pientareelle. Tilanteessa oli jonkinlainen riski sille, että ohittaja olisi tehnyt voimakkaamman väistöliikkeen ja ajautunut ainakin osittain ulos ajoradalta.



Kuva 6.16. Kuva ohitusyrityksestä, jossa ohittamaan pyrkinyt ajoneuvo joutui siirtymään vastaantulevan liikenteen kaistan pientareelle väistäessään HCT-yhdistelmää, joka puolestaan ohitti pientareella ajavia polkupyöräilijöitä. Henkilöauton kuljettaja keskeytti ohituksen ja palasi HCT-yhdistelmän taakse heti kuvanottohetken jälkeen.

Kuten luvussa 6.6 esitettiin, HCT-yhdistelmän materiaalissa havaittiin kuusi ohitusta, joissa turva-aika oli enintään kolmen sekunnin pituinen ja luokiteltiin hyvin lyhyeksi. Verrokkiyhdistelmän materiaalissa tällaisia ohituksia havaittiin viisi kappaletta. Yhdessä HCT-yhdistelmän ohituksista HCT-yhdistelmän kuljettajan havaittiin edesauttaneen ohituksen loppuunsaattamista jarruttamalla ohituksen aikana. Muissa ohituksissa ohitettavan tai vastaantulevan ajoneuvon ei havaittu jarruttaneen, väistäneen pientareelle tai toimineen muuten tavallisesta poikkeavasti. Kuten luvussa 6.4 esitettiin, ohittajien ylinopeudet olivat yleisiä kummankin yhdistelmän ohituksissa, mutta niiden suuruudessa tai yleisyydessä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä ajoneuvoyhdistelmien välisiä eroja.

Sekä HCT- että verrokkiyhdistelmän ohituksissa havaittiin useita ohituksia, jotka tapahtuivat osittain tai kokonaan ohituskieltoalueella sekä lisäksi ohituksia, jotka tapahtuivat osittain keltaisen katkoviivan alueella, mutta eivät ohituskieltoalueella. Sekä HCT- että verrokkiyhdistelmän ohituksista kymmenen kappaletta tapahtui osittain tai kokonaan ohituskieltoalueella. Suurin osa näistä ohituksista tapahtui vain osittain ohituskieltoalueella; joko niin, että ohitus päättyi keltaisen sulkuviivan alueelle tai niin, että ohitus aloitettiin jo ennen keltaisen sulkuviivan päättymistä. Lisäksi viidessätoista HCT-yhdistelmän ohituksessa ohitus tapahtui osittain keltaisen katkoviivan alueella, muttei ohituskieltoalueella. Verrokkiyhdistelmän materiaalissa tällaisia ohituksia havaittiin kymmenen kappaletta.

Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Kahden muun reitin tapaan myös Savonlinnan ja Lappeenrannan väliseltä reitiltä kerätyistä materiaalista analysoitiin tavallisuudesta poikkeavia tapahtumia ohitustilanteisiin liittyen. Varsinaisia keskeytettyjä ohituksia ei havaittu kummankaan ajoneuvoyhdistelmän materiaalissa. HCT-yhdistelmän materiaalissa havaittiin kaksi tapausta, joissa yhdistelmän takana ajanut henkilöauto siirtyi osittain vastaantulevan liikenteen kaistalle, mutta palasi omalle kaistalleen huomattuaan vastaantulevan ajoneuvon. Kyseisiä tapauksia ei kuitenkaan luokiteltu keskeytetyiksi ohituksiksi, sillä henkilöautot eivät ehtineet mainittavasti kiihdyttää eivätkä siirtyä edes osittain ohitettavan yhdistelmän rinnalle.

Kuten luvussa 6.6 todettiin, lyhyiksi luokiteltavia, enintään kolmen sekunnin mittaisia turva-aikoja havaittiin HCT-yhdistelmän ohituksissa kolme kappaletta ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa kaksi kappaletta. Yhdessä HCT-yhdistelmän ohituksessa HCT-yhdistelmän kuljettajan havaittiin jarruttaneen ohituksen loppuunsaattamiseksi ja yhdessä verrokkiyhdistelmän ohituksessa vastaantulija väisti ohittajaa pientareelle. Tälläkin reitillä ohittajien ylinopeudet olivat yleisiä, mutta nopeusrajoitusten ylitysten suuruudessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä.

Ohituksia, jotka tapahtuivat osittain tai kokonaan ohituskieltoalueella, havaittiin HCT-yhdistelmän materiaalissa viisi kappaletta ja verrokkiyhdistelmän materiaalissa 12 kappaletta. Ohituksia, jotka eivät tapahtuneet ohituskieltoalueella, mutta joissa ylitettiin keltainen katkoviiva, havaittiin HCT-yhdistelmän materiaalissa 14 kappaletta ja verrokkiyhdistelmän materiaalissa 20 kappaletta.

Reitit yhdessä tarkasteltuna

Kaikilta reiteiltä analysoidusta materiaalista pyrittiin tekemään havaintoja tavallisuudesta poikkeavista tilanteista ohituskäyttäytymiseen liittyen. Aineistosta pyrittiin havaitsemaan muun muassa keskeytetyt ohitukset, hyvin lyhyisiin turva-aikoihin liittyvät mahdolliset vaaratilanteet, ohituskieltoalueilla tapahtuneet ohitukset sekä muut mahdolliset poikkeustilanteet.

Kempele–Vantaa–Kempele havaittiin yksi selkeästi keskeytyneeksi ohitukseksi luokiteltava ohitus, jossa ohittamaan pyrkinyt ajoneuvo siirtyi ohitettavan yhdistelmän rinnalle, mutta perui ohitusaikensa havaittuaan vastaantulevan ajoneuvon. Lisäksi analysoidussa materiaalissa havaittiin tapauksia, joissa ohittamaan pyrkinyt ajoneuvo siirtyi kokonaan tai osittain vastaantulevan liikenteen kaistalle, mutta ei ehtinyt kiihdyttää ohitettavan yhdistelmän rinnalle ennen omalle kaistalleen palaamista. Tällaisia tapauksia havaittiin kaikilla reiteillä muutamia kappaleita.

4,3 % tutkituilla reiteillä analysoiduista kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista tapahtui osittain tai kokonaan ohituskieltoalueella. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä tällaisia ohituksia havaittiin 12 kappaletta, Kempeleen ja Rovaniemen välisellä reitillä 20 kappaletta ja Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä 17 kappaletta. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä valtaosa tapauksista oli HCT-yhdistelmän ohituksia, Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä tapauksia oli yhtä paljon HCT- ja verrokkiyhdistelmän materiaalissa, ja Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä valtaosa tapauksista oli verrokkiyhdistelmän ohituksia. Havaintojen perusteella ei siis voida sanoa, että ohituksia ohituskieltoalueella tapahtuisi HCT-yhdistelmien tapauksessa enemmän tai vähemmän kuin tavallisten ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa.

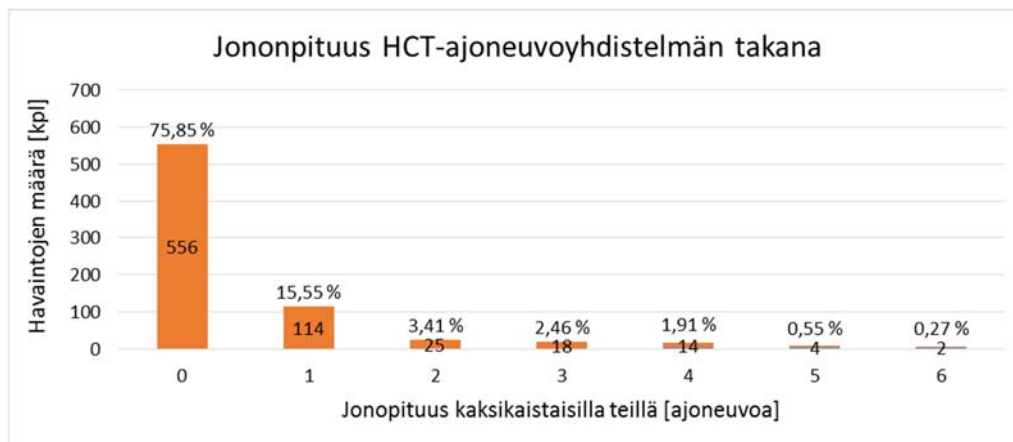
7 Jonoutuminen

7.1 Jononpituus ajoneuvoyhdistelmien takana

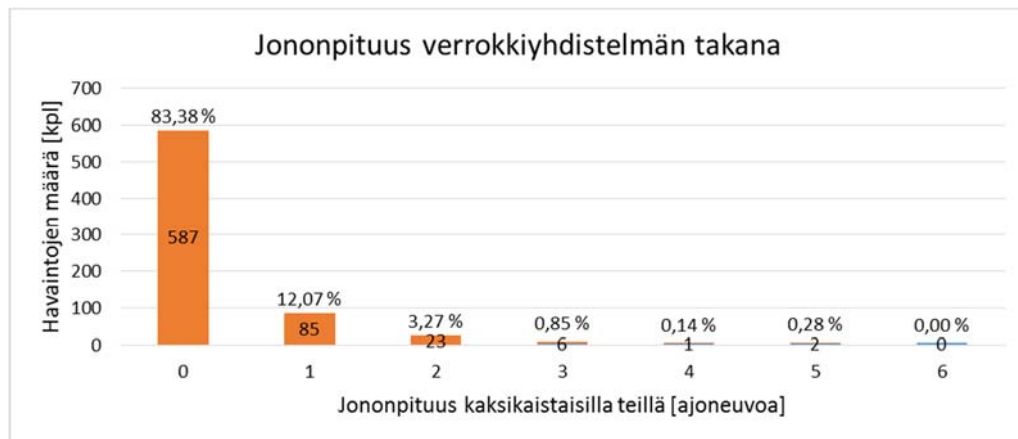
Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Kuten luvussa 5.4 esitettiin, jononpituutta ajoneuvoyhdistelmien perässä tutkittiin ti-
lastoimalla ajoneuvoyhdistelmien takana jonossa ajavien ajoneuvojen määrä viiden
minuutin välein. Huomioon ei otettu havaintoja, jotka tehtiin taajama-alueilla tai tie-
osuuksilla, joilla oli useampia kuin yksi ajokaista ajoneuvoyhdistelmän tarkasteluhet-
kellä ajamaan suuntaan.

Kuvassa 7.1 on esitetty HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana jonossa ajavien ajoneuvojen
määrästä tehtyjä havaintoja reitiltä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi. Vaaka-akseli kuvaa
jononpituutta ajoneuvoyhdistelmän takana ja pystyakseli kuvaa havaintojen lukumää-
rää. Kustakin jononpituudesta tehtyjen havaintojen määrä on ilmoitettu lukuarvona
pylvään sisällä, ja kyseisen pituisista jonoista tehtyjen havaintojen osuus kaikista ha-
vainnoista on ilmoitettu prosenttiosuutena pylvään päällä. Kuvassa 7.2 on vastaavasti
esitetty verrokkiyhdistelmän takana jonossa ajavien ajoneuvojen määrästä tehtyjä ha-
vaintoja. Kuvissa 7.1 ja 7.2 on yhdistetty jonohavainnot kummastakin tarkastelusuun-
nasta eli sekä tyhjänä että kuormattuna ajaneista yhdistelmistä.



Kuva 7.1. HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana kaksikaistaisilla tieosuuksilla havait-
tujen erimittisten jonojen määrä ja prosentuaalinen jakauma reitillä Ro-
vaniemi–Ivalo–Rovaniemi. Pylvään sisällä oleva luku kuvaa kyseisen mit-
taisista jonoista tehtyjen havaintojen määrää ja pylvään yläpuolella
oleva prosenttiluku kuvaa havaintojen osuutta kaikista jonohavainnoista.
HCT-yhdistelmän tapauksessa havaintojen kokonaismäärä oli 733 kap-
paletta.



Kuva 7.2. Verrokkiyhdistelmän takana kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen erimittaisten jonojen määrä ja prosentuaalinen jakauma reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi. Verrokkiyhdistelmästä jonohavaintoja saatiin yhteensä 704 kappaletta.

Kuvasta 7.1 havaitaan, että valtaosa, eli noin 76 prosenttia HCT-yhdistelmään liittyvistä havainnoista Rovaniemen ja Ivalon väliseltä reitiltä on sellaisia, joissa ajoneuvoyhdistelmän takana ei ollut yhtään ajoneuvoa jonossa. Vajaa 16 prosenttia havainnoista on sellaisia, joissa HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana havaittiin yksi jonottava ajoneuvo. Pisimmät havaitut jonot HCT-ajoneuvoyhdistelmän perässä olivat kuuden ajoneuvon mittaisia. Havaintoja viiden ja kuuden auton mittaisista jonoista oli kuitenkin yhteensä alle prosentti kaikista havainnoista. Sellaisia havaintoja, joissa HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana oli jonossa vähintään yksi ajoneuvo, oli noin 24 prosenttia.

Kuvasta 7.2 havaitaan vastaavasti, että yli 83 prosenttia havainnoista Rovaniemen ja Ivalon väliseltä reitiltä oli sellaisia, joissa verrokkiyhdistelmän takana ei ollut yhtään ajoneuvoa jonossa. Pisimmät havaitut jonot olivat viiden ajoneuvon pituisia, eli hieman lyhyempiä kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa. Sellaisia havaintoja, joissa verrokkiyhdistelmän takana oli vähintään yksi ajoneuvo jonossa, oli noin 17 prosenttia. Keskimääräinen jononpituus HCT-yhdistelmän takana oli 0,42 ajoneuvoa, kun vastaava luku verrokkiyhdistelmän tapauksessa oli 0,23. Sekä HCT-ajoneuvoyhdistelmän että verrokkiyhdistelmän takana havaittiin hieman useammin ja hieman pidempiä jonoja kuormattuna Rovaniemen suuntaan ajettaessa kuin tyhjänä Ivalon suuntaan ajettaessa. Tätä voidaan selittää useilla tekijöillä. Ensinnäkin liikennemäärät Rovaniemelle ajettujen matkojen aikana olivat LAM-pisteiden tietojen mukaan hieman suurempia kuin Ivaloon ajettujen matkojen aikana. Lisäksi ajoneuvoyhdistelmien nopeudet olivat kuormattuna alhaisempia kuin tyhjänä, mikä kasvatti ajoneuvoyhdistelmien saavutettavuutta. Suurempaa jonoutumista voi osaltaan selittää myös se, että kuormatut yhdistelmät aiheuttavat tyhjiä yhdistelmiä suuremman näkemäesteen, jolloin sopivan ohituspaikan löytäminen saattaa olla vaikeampaa.

Kuvien 7.1 ja 7.2 tietoja vertailemalla voidaan todeta, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana havaittiin jonottavia ajoneuvoja hieman useammin kuin verrokkiyhdistelmän takana. Lisäksi pisimmät havaitut jonot HCT-yhdistelmän perässä olivat kuuden ajoneuvon mittaisia, kun taas verrokkiyhdistelmän perässä havaittiin pisimmillään viiden ajoneuvon mittaisia jonoja. HCT- ja verrokkiyhdistelmän välinen ero jonon keskimääräisessä pituudessa todettiin riippumattomien otosten t-testillä tilastollisesti erittäin merkitseväksi (riskitaso $p < 0,001$). Lisäksi t-testillä todettiin, että kummankin yhdis-

telmän tapauksessa keskimääräinen jononpituus kuormatun ajoneuvoyhdistelmän takana oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin keskimääräinen jononpituus tyhjän ajoneuvoyhdistelmän takana ($p < 0,01$).

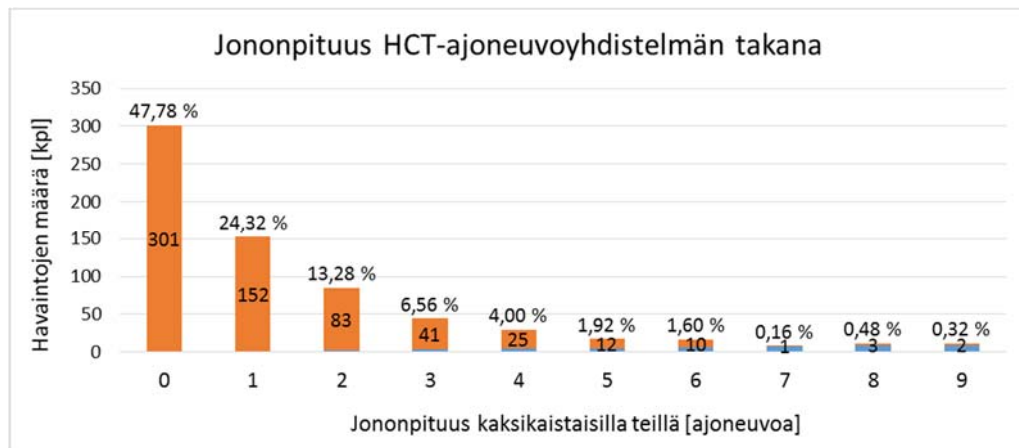
Kun vertaillaan jonoutumista HCT- ja verrokkiyhdistelmän takana, on syytä huomioida, että ajoneuvoyhdistelmien päivittäisissä ajoajoissa oli kuvan 6.1 mukaisesti jonkin verran eroa. Ajoaikojen erosta johtuen myös liikennemäärät HCT- ja verrokkiyhdistelmän ajamilla matkoilla erosivat toisistaan. Ivaloon ajetuilla matkoilla neljän kaksikaistaisella tieosuudella sijaitsevan LAM-pisteen tietojen avulla laskettu tuntiliikennemäärän keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 83 ajoneuvoa tunnissa ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 67 ajoneuvoa tunnissa. Rovaniemelle ajetuilla matkoilla keskimääräinen tuntiliikennemäärä oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 103 ajoneuvoa tunnissa ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 100 ajoneuvoa tunnissa. Sekä Ivaloon että Rovaniemelle ajetuilla matkoilla liikennemäärä oli siis HCT-yhdistelmän tapauksessa hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Liikennemäärien ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän ajamilla matkoilla ei ollut kuitenkaan riippumattomien otosten t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä kummassakaan tarkastelusuunnassa.

Koska liikennemäärä on merkittävin jonoutumiseen vaikuttava tekijä, tutkittiin myös liikennemäärän ja jononpituuden välistä yhteyttä. Kultakin matkalta laskettiin jononpituuden keskiarvo, jota verrattiin LAM-pisteistä saaduista tuntiliikennemääristä laskettuun keskiarvoon. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa todettiin jononpituuden ja liikennemäärän välillä voimakas positiivinen korrelaatio. Tarkastelun mukaan liikennemäärä selitti noin 59 % jononpituudesta HCT-yhdistelmän takana ja noin 63 % jononpituudesta verrokkiyhdistelmän takana.

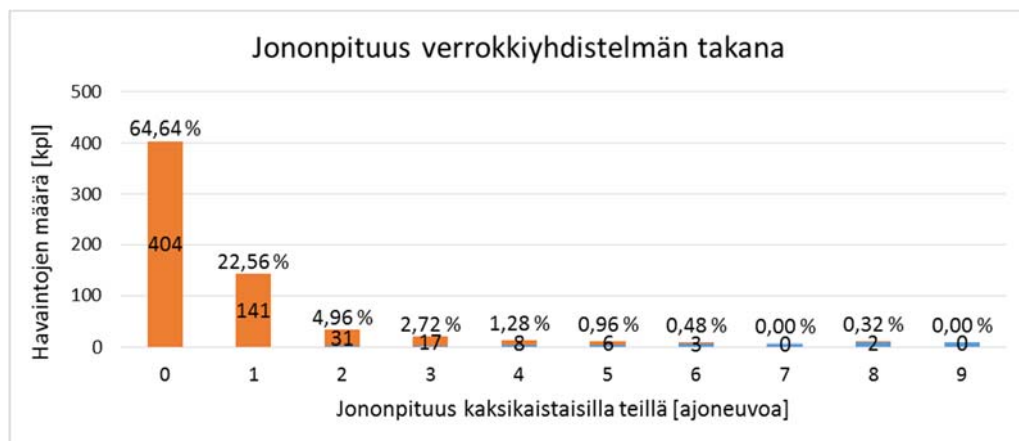
Vaikka liikennemäärien ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän ajamien matkojen aikana ei ollut tilastollisesti merkitsevä, voidaan olettaa, että keskimäärin suuremmat liikennemäärät HCT-yhdistelmän ajamien matkojen aikana selittävät osittain suurempaa jonoutumista HCT-yhdistelmän perässä. Muita jonoutumista HCT-yhdistelmän perässä kasvattavia tekijöitä ovat hieman verrokkiyhdistelmää pienempi keskinopeus sekä se, että HCT-yhdistelmän perässä ajettiin hieman verrokkiyhdistelmää pidempiä aikoja ennen ohituksen suorittamista tai ennen kuin jonosta poistuttiin jostain muusta syystä. Ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksia on käsitelty tarkemmin luvussa 8.1 ja seuranta-aikoja luvussa 7.2.

Kempele–Vantaa–Kempele

Kuvassa 7.3 on esitetty HCT-yhdistelmän takana jonossa ajavien ajoneuvojen määrästä tehtyjä havaintoja reitiltä Kempele–Vantaa–Kempele. Vaaka-akseli kuvaa jononpituutta ja pystyakseli havaintojen lukumäärää. Kuvassa 7.4 on vastaavasti esitetty verrokkiyhdistelmän takana jonossa ajavien ajoneuvojen määrästä tehtyjä havaintoja.



Kuva 7.3. HCT-yhdistelmän takana kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen erimittaisten jonojen määrä ja prosentuaalinen jakauma reitillä Kempele–Vantaa–Kempele. HCT-yhdistelmän tapauksessa havaintojen kokonaismäärä oli 630 kappaletta.



Kuva 7.4. Verrokkiyhdistelmän takana kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen erimittaisten jonojen määrä ja prosentuaalinen jakauma reitillä Kempele–Vantaa–Kempele. Verrokkiyhdistelmästä jonohavaintoja tehtiin yhteensä 613 kappaletta.

Kuvasta 7.3 havaitaan, että Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä noin 48 % HCT-yhdistelmään liittyvistä havainnoista oli sellaisia, joissa yhdistelmän takana ei ollut yhtään ajoneuvoa jonossa. Kääntäen voidaan siis todeta, että noin 52 %:ssa tapauksista HCT-yhdistelmän takana havaittiin vähintään yksi jonottava ajoneuvo. Pisimmät havaitut jonot olivat yhdeksän ajoneuvon mittaisia, mutta havaintoja yli kuuden ajoneuvon mittaisista jonoista oli yhteensä alle prosentti kaikista havainnoista.

Kuvasta 7.4 havaitaan vastaavasti, että Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä noin 65 % verrokkiyhdistelmään liittyvistä havainnoista oli sellaisia, joissa yhdistelmän takana ei ollut yhtään jonottavaa ajoneuvoa. Sellaisia havaintoja, joissa jonottajia oli vähintään yksi, oli siis noin 35 %. Pisimmät jonot olivat kahdeksan ajoneuvon mittaisia, mutta yli viiden ajoneuvon mittaisia jonoja oli alle prosentti kaikista havainnoista.

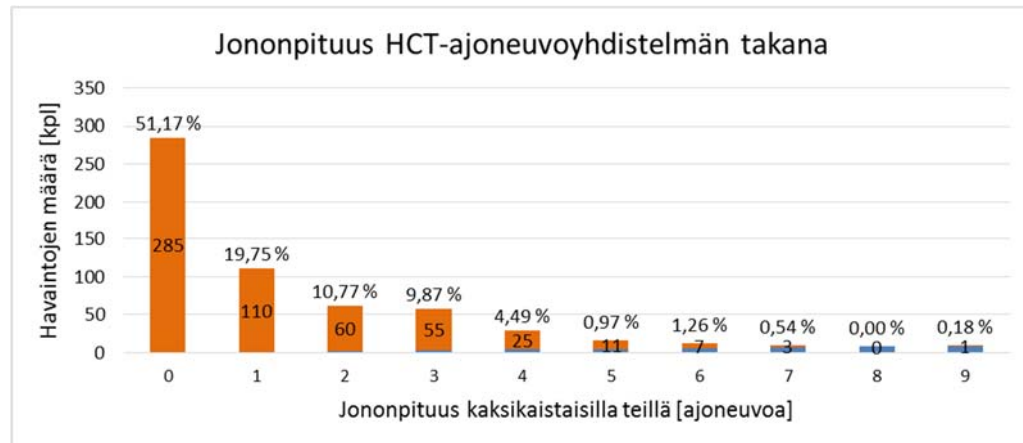
Vertaamalla kuvia 7.3 ja 7.4 nähdään, että jononpituus HCT-yhdistelmän takana oli keskimäärin pidempi ja jonotustilanteita havaittiin useammin kuin verrokkiyhdistelmän takana. Jononpituuden keskiarvo HCT-yhdistelmän takana oli 1,13 ajoneuvoa ja verrokkiyhdistelmän takana 0,59 ajoneuvoa. Ajoneuvoyhdistelmien välinen ero jononpituuden keskiarvossa todettiin riippumattomien otosten t-testillä erittäin merkitseväksi (riskitaso $p < 0,001$).

Kuvien 7.3 ja 7.4 perusteella voidaan todeta, että kummankaan ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa jonoutuminen yhdistelmien perässä ei ollut ongelma. Keskimääräinen jononpituus HCT-yhdistelmän perässä oli kuitenkin lähes kaksinkertainen verrokkiyhdistelmään verrattuna. Yksi merkittävä selittävä tekijä tälle on yhdistelmien välinen ero liikennöintiajoissa: kuten kuvassa 6.2 esitettiin, HCT-yhdistelmän materiaalia kerättiin melko tasaisesti vuorokauden eri tunneilta, kun taas verrokkiyhdistelmän materiaalissa painottuivat liikennemääriltään pienemmät illan ja alkuyön tunnit. Kun kultakin matkalta laskettiin tuntiliikennemäärän keskiarvo kaksikaistaisilla tieosuuksilla sijaitsevien LAM-pisteiden tietojen perusteella, voitiin todeta, että HCT-yhdistelmän ajamalla matkoilla liikennemäärät olivat keskimäärin suurempia kuin verrokkiyhdistelmän ajamalla matkoilla. Vantaalle ajettaessa tuntiliikennemäärän keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 310 ajoneuvoa tunnissa ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 190 ajoneuvoa tunnissa. Kempeleeseen ajetuilla matkoilla tuntiliikennemäärän keskiarvo oli puolestaan HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 430 ajoneuvoa tunnissa ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 310 ajoneuvoa tunnissa. Vantaalle ajetuilla matkoilla ajoneuvoyhdistelmien välinen liikennemäärien ero todettiin tilastollisesti erittäin merkitseväksi ($p < 0,001$), kun taas Kempeleeseen ajetuilla matkoilla ero oli riippumattomien otosten t-testin mukaan melkein merkitsevä ($p < 0,05$).

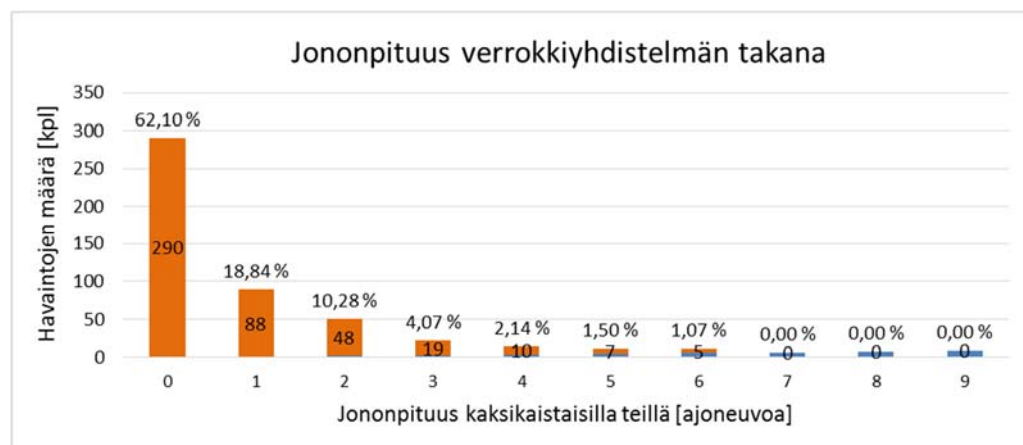
Kuten Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä, myös Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä tutkittiin liikennemäärän ja jononpituuden välillä tilastollista yhteyttä. Kultakin matkalta laskettiin kaksikaistaisilla tieosuuksilla sijaitsevien LAM-pisteiden tuntiliikennemäärien keskiarvo ja verrattiin sitä kyseisen matkan keskimääräiseen jononpituuteen. Myös tällä reitillä havaittiin voimakas korrelaatio liikennemäärän ja jononpituuden välillä. HCT-yhdistelmän tapauksessa liikennemäärä selitti noin 36 % keskimääräisestä jononpituudesta, kun selitysaste verrokkiyhdistelmän tapauksessa oli noin 64 %. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa jononpituus siis korreloi voimakkaasti liikennemäärän kanssa, joskin verrokkiyhdistelmän tapauksessa liikennemäärä selitti jonoutumista enemmän kuin HCT-yhdistelmän tapauksessa. Voidaankin olettaa, että merkittävä tekijä suuremmalle jonoutumiselle HCT-yhdistelmän tapauksessa on se, että liikennemäärät HCT-yhdistelmän ajamalla matkoilla olivat keskimäärin suurempia kuin verrokkiyhdistelmän ajamalla matkoilla. Muita syitä suuremmalle jonoutumiselle HCT-yhdistelmän perässä ovat HCT-yhdistelmän hieman verrokkiyhdistelmää alhaisempi keskinopeus sekä pidemmät seuranta-ajat ennen ohituksia. Lisäksi hieman suurempi osuus HCT-yhdistelmän saavuttaneista kuljettajista päätti jättää HCT-yhdistelmän ohittamatta kaksikaistaisella tieosuudella. Toisaalta Vantaan ja Kempeleen välisellä reitillä jonoutumista vähentää ja yhdistelmien välisiä eroja kaivetaan se, että reitillä on runsaasti ohituskaistoja, joilla syntynyt ohituskysyntä voidaan purkaa.

Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Kuvassa 7.5 on esitetty HCT-yhdistelmän takana jonossa ajavien ajoneuvojen määrästä tehtyjä havaintoja reitiltä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna. Vaaka-akseli kuvaa jononpituutta ja pystyakseli havaintojen lukumäärää. Kuvassa 7.6 on puolestaan esitetty verrokkiyhdistelmän takana jonossa ajavien ajoneuvojen määrästä tehtyjä havaintoja.



Kuva 7.5. HCT-yhdistelmän takana kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen erimittaisten jonojen määrä ja prosentuaalinen jakauma reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna. HCT-yhdistelmän tapauksessa havaintojen kokonaismäärä oli 557 kappaletta.



Kuva 7.6. Verrokkiyhdistelmän takana kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen erimittaisten jonojen määrä ja prosentuaalinen jakauma reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna. Verrokkiyhdistelmästä jonohavaintoja tehtiin yhteensä 467 kappaletta.

Kuva 7.5 osoittaa, että reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna noin 51 % HCT-ajoneuvoyhdistelmään liittyvistä havainnoista oli sellaisia, joissa yhdistelmä ajoi ilman seuraajia. Hieman alle puolet havainnoista oli siis sellaisia, joissa jonottajia oli vähintään yksi. Pisin jonohavainto oli yhdeksän ajoneuvon pituinen, mutta yli kuuden ajoneuvon mittaisista jonoista tehtyjä havaintoja oli alle prosentti kaikista havainnoista.

Kuva 7.6 osoittaa puolestaan, että Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä noin 62 %:ssa havainnoista verrokkiyhdistelmän perässä ei ollut jonottavia ajoneuvoja. Havaintoja, joissa jonossa oli vähintään yksi ajoneuvo, oli siis noin 38 prosenttia. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa pisimmät havaitut jonot olivat kuuden ajoneuvon mittaisia.

Havaintoja kuuden ajoneuvon mittaisista jonoista oli noin prosentti kaikista havainnoista.

Kuvia 7.5 ja 7.6 verratessa havaitaan, että HCT-yhdistelmän perässä havaittiin jonottajia hieman useammin kuin verrokkiyhdistelmän perässä. Lisäksi keskimääräinen jononpituus HCT-yhdistelmän perässä oli suurempi kuin verrokkiyhdistelmän perässä. Jononpituuden keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 1,12 ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 0,74. Jononpituuden keskiarvojen ero todettiin riippumattomien otosten t-testillä erittäin merkitseväksi ($p < 0,001$). Voidaan siis todeta, että jonoutuminen HCT-yhdistelmän perässä oli hieman suurempaa kuin verrokkiyhdistelmän perässä. Pitkiä jonoja havaittiin kuitenkin kummankin yhdistelmän materiaalissa hyvin vähän, joten voidaan todeta, että myöskään Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä jononmuodostus yhdistelmien perässä ei ollut ongelma.

Keskimääräisiä jononpituuksia vertailtaessa on lisäksi syytä huomioida, että kuvan 6.3 mukaisesti HCT- ja verrokkiyhdistelmän ajoajoissa oli jonkin verran eroa. Lisäksi Savonlinnan ja Lappeenrannan väliltä kerätty tutkimusmateriaalia ei ollut ajallisesti ja reitillisesti täysin yhtenevää. Edellä mainittujen syiden vuoksi myös keskimääräisissä liikennemäärissä havaittiin eroja HCT- ja verrokkiyhdistelmän ajamien matkojen välillä. Savonlinnasta Lappeenrantaan ajetuilla matkoilla liikennemäärän keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ajamilla matkoilla noin 460 ajoneuvoa tunnissa ja verrokkiyhdistelmän ajamilla matkoilla noin 350 ajoneuvoa tunnissa. Lappeenrannasta Savonlinnan suuntaan ajetuilla matkoilla liikennemäärän keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 490 ajoneuvoa tunnissa ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 450 ajoneuvoa tunnissa. Liikennemäärien vertailtavuutta heikentää kuitenkin se, että Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä on vain kaksi kaksikaistaisella tieosuudella sijaitsevaa LAM-pistettä (LAM Savonlinna ja LAM Rautjärvi). Lisäksi talviaikana Savonlinnan LAM-piste ei ollut toiminnassa, joten liikennemäärätiedot eivät todennäköisesti kuvaa koko reittiä todenmukaisesti. LAM-pisteistä saatujen tietojen perusteella näyttää kuitenkin siltä, että keskimääräinen liikennemäärä oli HCT-yhdistelmän ajamilla matkoilla hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ajamilla matkoilla. Koska liikennemäärä on yleisesti merkittävin jonoutumiseen vaikuttava tekijä, voidaan perustellusti olettaa, että ajoneuvoyhdistelmien väliset erot keskimääräisessä jononpituudessa selittyvät osittain keskimääräisten liikennemäärien erolla. Jonoutuminen HCT-yhdistelmän takana oli hieman voimakkaampaa myös sen takia, että HCT-yhdistelmän keskinopeus oli verrokkiyhdistelmän keskinopeutta alhaisempi. Lisäksi HCT-yhdistelmän perässä jonossa ajatut ajat eli seuranta-ajat olivat keskimäärin pidempiä kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Verrokkiyhdistelmään verrattuna hieman suurempi osuus HCT-yhdistelmän saavuttaneista kuljettajista myös jätti HCT-yhdistelmän ohittamatta. Ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksia käsitellään tarkemmin luvussa 8.1 ja seuranta-aikoja luvussa 7.2.

Reitit yhdessä tarkasteltuna

Kullakin reitillä tutkittiin jononpituutta ajoneuvoyhdistelmien perässä tilastoimalla ajoneuvoyhdistelmien takana jonossa ajavien ajoneuvojen määrä viiden minuutin välein. Huomioon ei otettu havaintoja, jotka tehtiin taajama-alueilla tai tieosuuksilla, joilla oli useampia kuin yksi ajokaista ajoneuvoyhdistelmän tarkasteluhetkellä ajamaan suuntaan.

Kunkin tutkitun yhdistelmän tapauksessa vähintään noin puolet tehdystä havainnoista oli sellaisia, joissa yhdistelmä ajoi ilman seuraajia. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä tällaisia havaintoja oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 76 % ja verrokkiyhdistelmän

tapauksessa 83 % kaikista havainnoista. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä tällaisia havaintoja oli puolestaan HCT-yhdistelmän tapauksessa 48 % ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 65 % kaikista havainnoista. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä vastaavat luvut olivat HCT-yhdistelmän tapauksessa 51 % ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 62 %. Kaikilla reiteillä HCT-yhdistelmien materiaalista tehtiin siis verrokkiyhdistelmiä enemmän havaintoja, joissa yhdistelmien perässä oli vähintään yksi jonottava ajoneuvo.

Myös keskimääräiset jononpituudet olivat HCT-yhdistelmien tapauksessa pidempiä kuin verrokkiyhdistelmien tapauksessa: Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä keskimääräiset jononpituudet olivat 0,42 (HCT) ja 0,23 (verrokki), Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä 1,13 (HCT) ja 0,59 (verrokki) ja Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä 1,12 (HCT) ja 0,74 (verrokki). Kaikilla reiteillä myös todettiin, että HCT- ja verrokkiyhdistelmän välinen ero keskimääräisessä jononpituudessa oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. HCT-yhdistelmien perään muodostui siis kaikilla reiteillä hieman verrokkiyhdistelmiä pidempiä jonoja ja lisäksi HCT-yhdistelmät olivat jononjohtajina verrokkiyhdistelmiä useammin. Toisaalta millään reitillä jonoutuminen ei ollut erityisen voimakasta: pisimmät, yhdeksän ajoneuvon mittaiset jonot havaittiin Vantaan ja Kempeleen sekä Savonlinnan ja Lappeenrannan välisillä reiteillä, mutta kaikilla reiteillä muodostuneet jonot olivat pääasiassa yhden, kahden tai kolmen ajoneuvon muodostamia jonoja.

Yleisesti ottaen jonoutuminen liikennevirrassa riippuu ensisijaisesti liikennemäärästä. Koska millään tutkituista kolmesta reitistä HCT- ja verrokkiyhdistelmien ajoajat eivät olleet keskenään täysin yhteneviä, on jononpituuksia vertailtaessa syytä ottaa huomioon, että myös liikennemäärissä oli eroa HCT- ja verrokkiyhdistelmien ajamien matkojen välillä. Tämän huomioon ottamiseksi käytettiin hyväksi kullakin reitillä sijaitsevien LAM-pisteiden liikennemäärätietoja. Huomioon otettiin tiedot niistä LAM-pisteistä, jotka sijaitsivat kaksikaistaisilla tieosuuksilla. Liikennemäärän arvioimiseksi laskettiin kultakin matkalta reitillä sijaitsevien LAM-pisteiden tiedoista tuntiliikennemäärien keskiarvo. Kullakin tutkituista kolmesta reitistä liikennemäärät olivat keskimäärin suurempia HCT-yhdistelmien ajamien matkojen aikana kuin verrokkiyhdistelmien ajamien matkojen aikana. Kun vertailtiin matkakohtaisesti keskimääräistä jononpituutta ja liikennemäärää, havaittiin liikennemäärän ja jononpituuden välillä voimakas positiivinen korrelaatio. Onkin oletettavaa, että merkittävä syy suuremmalle jonoutumiselle HCT-yhdistelmien perässä olivat suuremmat liikennemäärät HCT-yhdistelmien ajamilla matkoilla. Muita syitä voimakkaammalle jonoutumiselle HCT-yhdistelmien perässä olivat HCT-yhdistelmien verrokkiyhdistelmiä alhaisemmat keskinopeudet sekä pidemmät seuranta-ajat. Lisäksi verrokkiyhdistelmiin verrattuna suurempi osa HCT-yhdistelmän saavuttaneista kuljettajista päätti olla ohittamatta edellä ajavaa, tavallista pidempää ajoneuvoyhdistelmää, mikä osaltaan kasvatti keskimääräistä jononpituutta. Edellä mainittuja tekijöitä käsitellään tarkemmin seuraavissa aliluvuissa.

7.2 Seuranta-ajan kesto

Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Jonoutumiseen liittyen tutkittiin myös seuranta-aikoja eli sitä, kuinka kauan ajoneuvot ajoivat ajoneuvoyhdistelmien takana jonossa ennen kuin lähtivät ohittamaan tai ennen kuin jonotus jostain muusta syystä päättyi. Seuranta-ajaksi määriteltiin aika, jonka ajoneuvo ajaa HCT- tai verrokkiyhdistelmän perässä ensimmäisenä jonottavana ajoneuvona. Käytännön syistä seuranta-ajaksi ei määritelty jonottamiseen kokonaisuutena käytettyä aikaa, sillä jonotukseen käytetyn kokonaisajan määrittäminen on sitä epätarkempaa, mitä pidempi jono on. Määrittelemällä seuranta-aika edellä esitetyllä tavalla, voitiin tutkia sitä, millainen vaikutus ajoneuvoyhdistelmien takana ajettuun jonotusajkaan on sillä, että ohitettavana on pitkä kuljetus -kyltillä merkitty, tavallista pidempi ajoneuvoyhdistelmä. Määrittelytavasta johtuen jono-ohituksissa seuranta-aika merkittiin nolaksi. Luonnollisesti myös lentävissä ohituksissa seuranta-aika oli nolla sekuntia.

Taulukkoon 7.1 on listattu kaikista reitin Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista lasketut seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvot. Taulukon 7.2 arvot on puolestaan laskettu vain kyseisen reitin kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista kiihdytysohituksista. Seuranta-aikojen lisäksi taulukoissa on ilmoitettu aika-arvoja vastaavat etäisyydet, jotka on laskettu käyttämällä ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksien keskiarvoja. HCT-yhdistelmän keskinopeuksien keskiarvo oli Ivaloon ajetuilla matkoilla 78,6 km/h ja Rovaniemelle ajetuilla matkoilla 74,6 km/h. Verrokkiyhdistelmän keskinopeuksien keskiarvo oli puolestaan 81,5 km/h Ivaloon ajetuilla matkoilla ja 75,4 km/h Rovaniemelle ajetuilla matkoilla. Ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksia ja niiden laskentaa käsitellään tarkemmin luvussa 8.1.

Taulukko 7.1. Ohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvot ja niitä vastaavat etäisyydet reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi. Arvot on laskettu kaikista kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu seuranta-ajan keskihajonta.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	98	135	115	73	109	92
Seuranta-ajan mediaani [s]	37	48	36	21	36	24
Seuranta-ajan keskihajonta [s]	153	260	234	124	207	179
Maksimiseuranta-aika [s]	924	1226	1615	658	1615	1226
Keskiarvoa vastaava etäisyys [m]	2140	3060	2380	1530	2320	2000
Mediaania vastaava etäisyys [m]	810	1090	750	440	760	520
Maksimiarvoa vastaava etäisyys [m]	20170	27760	33470	13780	33470	27760

Taulukko 7.2. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittuja kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski- ja mediaaniarvot ja niitä vastaavat etäisyydet reitillä Ivalo–Rovaniemi–Ivalo. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu seuranta-ajan keskihajonta.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	142	222	175	120	162	151
Seuranta-ajan mediaani [s]	85	93	76	78	79	82
Seuranta-ajan keskihajonta [s]	165	304	268	140	233	207
Keskiarvoa vastaava etäisyys [m]	3100	5026	3630	2510	3440	3290
Mediaania vastaava etäisyys [m]	1860	2110	1570	1630	1670	1790

Taulukon 7.1 arvoista nähdään, että Ivalon suuntaan ajaneen tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittaneet ajoneuvot ajoivat HCT-yhdistelmän takana ensimmäisenä jonottajana keskimäärin 98 sekuntia ennen ohituksen alkamista. Koska hyvin pitkät seuranta-ajat kasvattavat keskiarvoa voimakkaasti, kuvaavampi tunnusluku on seuranta-aikojen mediaaniarvo, joka tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitusten tapauksessa on 37 sekuntia. Sekä seuranta-ajan keski- että mediaaniarvot ovat tyhjän verrokkiyhdistelmän tapauksessa pidempiä: seuranta-ajan keskiarvo on 135 sekuntia ja mediaaniarvo 48 sekuntia. Riippumattomien otosten t-testi kuitenkin osoitti, etteivät seuranta-aikojen keskiarvot tyhjien ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

Rovaniemen suuntaan ajaneen kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksia edeltäneet seuranta-ajat ovat keskiarvoltaan hieman pidempiä kuin tyhjän HCT-yhdistelmän tapauksessa, mutta vastaavissa mediaaniarvoissa ei ole suurta eroa. Kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksia edeltäneet seuranta-ajat ovat sen sijaan sekä keski- että mediaaniarvoltaan merkittävästi lyhyempiä kuin tyhjän verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Seuranta-ajan keski- ja mediaaniarvot olivat kuormatun verrokkiyhdistelmän tapauksessa myös lyhyempiä kuin kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa. Kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja kuormatun verrokkiyhdistelmän välinen ero seuranta-aikojen keskiarvoissa ei kuitenkaan ole riippumattomien otosten t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä. Tyhjien yhdistelmien seuranta-ajoista pisin havaittiin ennen verrokkiyhdistelmän ohitusta, kun taas kuormattujen yhdistelmien ohituksia edeltäneistä seuranta-ajoista pisin havaittiin ennen HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitusta. Pisimmät seuranta-ajat olivat kuitenkin yksittäistapauksia ja poikkesivat selvästi muusta aineistosta.

Taulukossa 7.2 esitetyt seuranta-ajan keski- ja mediaaniarvot ovat taulukon 7.1 vastaavia arvoja suurempia, sillä näitä lukuja laskettaessa huomioon on otettu ainoastaan kiihdytysohituksia edeltäneet seuranta-ajat ja nolliksi merkityt seuranta-ajat ennen lentäviä ohituksia ja jono-ohituksia on jätetty huomiotta. Taulukosta nähdään, että tyh-

jänä Ivaloon ajaneen HCT-ajoneuvoyhdistelmän kiihdytysohituksella ohittaneet ajoneuvot ajoivat yhdistelmän perässä ensimmäisenä jonottajana keskimäärin 142 sekuntia ennen ohitusta vastaavan mediaaniarvon ollessa 85 sekuntia. Tyhjän verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksella ohittaneet ajoneuvot ajoivat yhdistelmän perässä ensimmäisenä jonottajana keskimäärin 222 sekunnin ajan vastaavan mediaaniarvon ollessa 93 sekuntia. Kuormatun HCT-yhdistelmän perässä ajettiin keskimäärin 175 sekuntia ennen kiihdytysohitusta vastaavan mediaaniarvon ollessa 76 sekuntia. Kuormatun verrokkiyhdistelmän perässä puolestaan ajettiin keskimäärin 120 sekuntia ennen kiihdytysohitusta vastaavan mediaaniarvon ollessa 78 sekuntia. Vaikka keskiarvojen erot ovat huomattavia, eivät keskiarvot kuitenkaan riippumattomien otosten t-testin perusteella eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Kun verrataan taulukossa 7.2 ilmoitettuja mediaaniarvoja, huomataan, ettei niissä ole kovin suurta eroa HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän välillä. Sekä tyhjien että kuormattujen yhdistelmien lukuja verrattaessa nähdään, että mediaaniarvot ovat HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa hieman verrokkiyhdistelmän vastaavia arvoja pienempiä.

Kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen pituuksia vertailtiin myös ohittaneiden ajoneuvojen ajoneuvotyyppien mukaan jaoteltuina. HCT-ajoneuvoyhdistelmän kiihdytysohituksista tehdyt havainnot on esitetty taulukossa 7.3 ja verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksista tehdyt havainnot taulukossa 7.4.

Taulukko 7.3. Reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi liikennöivän HCT-ajoneuvoyhdistelmän kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja ohittaneiden ajoneuvojen ajoneuvotyyppien mukaan jaoteltuina.

Ohittava ajoneuvo	Henkilö-auto	Paketti-auto	Peräkärryllinen henkilö- tai paketti-auto	Raskas ajoneuvo	Matkailu-auto
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	157	146	267	259	103
Seuranta-ajan mediaani [s]	67	83	237	189	76
Seuranta-ajan maksimi [s]	1615	805	663	716	182
Havaintojen määrä [kpl]	112	29	6	6	3

Taulukko 7.4. Reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi liikennöivän verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja ohittaneiden ajoneuvojen ajoneuvotyyppien mukaan ja oteltuina.

Ohittava ajoneuvo	Henkilöauto	Pakettiauto	Peräkärryllinen henkilö- tai pakettiauto	Raskas ajoneuvo
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	166	90	237	55
Seuranta-ajan mediaani [s]	83,5	52	161	55
Seuranta-ajan maksimi [s]	1226	393	503	55
Havaintojen määrä [kpl]	72	23	5	1

Taulukoista 7.3 ja 7.4 havaitaan ohitusta edeltäneissä seuranta-ajoissa jonkin verran eroja eri ajoneuvotyyppien välillä. Seuranta-aikojen mediaaniarvot ovat suurimpia niissä ohituksissa, joissa ohittavana ajoneuvona on henkilö- tai pakettiauton ja peräkärryn yhdistelmä. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa myös raskaiden ajoneuvojen seuranta-aikojen mediaani on pidempi kuin henkilö-, paketti- ja matkailuautojen seuranta-aikojen mediaani. Verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksella ohittaneista ajoneuvoista vain yksi oli raskas ajoneuvo. Kyseisessä tapauksessa seuranta-aika oli keskimääräistä lyhyempi. Taulukoiden arvot voivat viitata siihen, että hitaammin kulkevilla ajoneuvoilla, kuten henkilö- tai pakettiauton ja peräkärryn yhdistelmillä sekä raskailla ajoneuvoilla saattaa olla suurempi kynnys ohittaa tavallista pitempi HCT-ajoneuvoyhdistelmä kuin verrokkiyhdistelmä. On myös huomattava, että henkilö- tai pakettiauton ja peräkärryn yhdistelmän, joidenkin pakettiautojen sekä kuorma-autojen ja ajoneuvoyhdistelmien suurin sallittu nopeus on 80 kilometriä tunnissa, jolloin HCT- tai verrokkiyhdistelmän ohittamisen tuoma aikahyöty on kyseenalainen, mikäli ajoneuvo-kohtaista nopeusrajoitusta noudatetaan. Alhaisemmalla nopeudella myös ohittaminen kestää kauemmin, joten on luonnollista, että sopivaa ohituspaikkaa joudutaan odottamaan suurempaa nopeutta ajavia henkilöautoja kauemmin.

Kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneita ohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen lisäksi tutkittiin niiden jonotusten kestoja, jotka päättyivät jostakin muusta syystä. Muita syitä jonotuksen päättymiseen olivat esimerkiksi jonottajan liittyminen pois seurattavien ajoneuvoyhdistelmien ajamalta tieltä, ajoneuvoyhdistelmien liittyminen pois ajamaltaan tieltä, 2+2-kaistaisella tieosuudella tapahtunut ohitus tai jonottajan jättäytyminen niin kauas ajoneuvoyhdistelmästä, ettei sen enää katsottu olevan jonossa. Taulukossa 7.5 on kuvattu näiden seuranta-aikojen kestojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja, yhteenlaskettua jonotusaikaa sekä jonotushavaintojen lukumäärää Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä.

Taulukko 7.5. Sellaisten seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella. Taulukossa on ilmoitettu myös kyseisten seuranta-aikojen summa sekä havaintojen lukumäärä. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu seuranta-ajan keski-, mediaani- ja maksimiarvoja vastaavien etäisyyksien arvot. Tulokset koskevat reittiä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi.

Tarkasteltava ajoneuvo	HCT, Ivaloon	Verrokki, Ivaloon	HCT, Rovaniemelle	Verrokki, Rovaniemelle	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	376	127	522	480	469	387
Seuranta-ajan mediaani [s]	259	78	287	202	282	144
Seuranta-ajan keskihajonta [s]	376	113	949	746	798	661
Seuranta-ajan maksimi [s]	1647	416	5548	3409	5548	3409
Seuranta-aika yhteensä [hh:mm:ss]	1:52:48	0:19:06	4:38:16	3:20:12	6:31:04	3:39:18
Havaintojen määrä [kpl]	18	9	32	25	50	34
Keskiarvoa vastaava etäisyys [m]	8210	2880	10 820	10 050	9960	8430
Mediaania vastaava etäisyys [m]	5650	1770	5950	4230	5990	3140
Maksimiarvoa vastaava etäisyys [m]	35 960	9420	114 970	71 400	114970	71 400

Taulukosta 7.5 nähdään, että Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä sellaisten seuranta-aikojen, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella, keski-, mediaani- ja maksimiarvot ovat suurempia HCT- kuin verrokkiyhdistelmällä. Seuranta-aikojen keskiarvoissa ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä. Taulukosta 7.5 nähdään lisäksi, että seuranta-aikojen summa on HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa merkittävästi suurempi kuin verrokkiyhdistelmällä. Sellaisia jonotuksia, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella, myös havaittiin HCT-ajoneuvoyhdistelmän tuottamassa aineistossa useampia kuin verrokkiyhdistelmän aineistossa. Edellä mainitut tekijät ovat osasyitä sille, miksi HCT-yhdistelmän perässä havaittiin keskimäärin useammin ja keskimäärin pidempiä jonoja kuin verrokkiyhdistelmän perässä. Toisaalta luvussa 7.1 todettiin liikennemäärien olleen HCT-yhdistelmän ajamien matkojen aikana keskimäärin suurempia kuin verrokkiyhdistelmän ajamien matkojen aikana. Suurempi liikennemäärä luonnollisesti kasvattaa myös seuranta-aikoja, sillä liikennemäärän kasvaessa ohitukseen vaadittavien aikavälien esiintymistiheys vastaantulevassa liikennevirrassa laskee.

Taulukon 7.5 lukuja arvioitaessa pitää huomioda, että seuranta-aikojen lisäksi myös ohituksia kaksikaistaisilla teillä havaittiin HCT-yhdistelmän materiaalissa määrällisesti enemmän kuin verrokkiyhdistelmän materiaalissa. HCT- ja verrokkiyhdistelmän välisen vertailun helpottamiseksi laskettiin, kuinka suuri prosentuaalinen osuus ajoneuvoyhdistelmien takana ensimmäisinä jonottajina ajaneista ajoneuvoista ei suorittanut ohitusta, vaan poistui jonosta jollain muulla tavalla. HCT-yhdistelmän tapauksessa 24,3 % ensimmäisenä jonottajana ajaneista ajoneuvoista ei suorittanut ohitusta, kun taas verrokkiyhdistelmän tapauksessa vastaava luku oli 25,2 %. Verrokkiyhdistelmään verrattuna hieman suurempi osuus HCT-yhdistelmän takana jonottaneista ajoneuvoista siis suoritti ohituksen, vaikkakaan yhdistelmien välinen ero ei ole suuri. Ero voi johtua esimerkiksi verrokkiyhdistelmän HCT-yhdistelmää suuremmasta keskinopeudesta tai mahdollisista eroista ajoneuvoyhdistelmien kuljettajien toiminnassa, kuten sopivan ohituspaikan osoittamisessa suuntamerkkiä näyttämällä.

Niistä Rovaniemen ja Ivalon välillä liikennöivän HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana havaituista jonottajista, jotka eivät suorittaneet ohitusta kaksikaistaisilla tieosuuksilla, 62 % oli henkilöautoja, 24 % pakettiautoja, 4 % henkilö- tai pakettiauton ja peräkärryn yhdistelmiä ja loput 10 % raskaita ajoneuvoja. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa jonottavien ajoneuvotyyppien jakauma oli samantyyppinen: 68 % henkilöautoja, 12 % pakettiautoja, 9 % henkilö- tai pakettiauton ja peräkärryn yhdistelmiä sekä 12 % raskaita ajoneuvoja. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa valtaosa havainnoista oli siis henkilöautoja, ja esimerkiksi peräkärryllisten henkilö- tai pakettiautojen ja raskaiden ajoneuvojen osuus havainnoista oli verrattain pieni. Kuitenkin henkilöautojen osuus yhteenlasketusta jonotusajasta oli sekä HCT- että verrokkiyhdistelmällä alle 50 %, kun taas raskaiden ajoneuvojen osuus oli kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa noin 30 %. Loput noin 20 prosenttia jakaantui pakettiautojen ja peräkärryllisten henkilö- tai pakettiautojen kesken. Tulokset vaikuttavat loogisilta: hitaammin ajavia ajoneuvoja on jonottajista suhteellisen pieni osa, ja koska ohituksen tuoma hyöty on pienempi kuin henkilöautoilla, ajavat nämä ajoneuvot ajoneuvoyhdistelmien takana jonossa pidempiä matkoja ohittamatta niitä.

Kempele–Vantaa–Kempele

Taulukkoon 7.6 on listattu kaikista reitin Kempele–Vantaa–Kempele kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista lasketut seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvot. Taulukossa 7.7 on puolestaan esitetty vastaavat arvot ottaen huomioon vain kiihdytysohitukset. Taulukoissa on ilmoitettu lisäksi aika-arvoja vastaavat etäisyydet, jotka on laskettu käyttäen ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksien keskiarvoa. HCT-yhdistelmän keskinopeuksien keskiarvo oli Vantaalle ajettaessa 81,3 km/h ja Kempeleeseen ajettaessa 80,3 km/h. Verrokkiyhdistelmän keskinopeus oli puolestaan Vantaalle ajettaessa 82,8 km/h ja Kempeleeseen ajettaessa 81,7 km/h.

Taulukko 7.6. Ohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimi-arvot ja niitä vastaavat etäisyydet. Arvot on laskettu kaikista Kempele–Vantaa–Kempele-reitin kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu seuranta-ajan keskihajonta.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	113	76	105	108	110	88
Seuranta-ajan mediaani [s]	33	31	32	49	33	34
Seuranta-ajan keskihajonta [s]	205	163	192	198	200	178
Maksimiseuranta-aika [s]	1408	1464	1122	1082	1408	1464
Keskiarvoa vastaava etäisyys [m]	2550	1750	2340	2450	2470	2010
Mediaania vastaava etäisyys [m]	750	710	710	1110	740	780
Maksimi-arvoa vastaava etäisyys [m]	31 820	33 680	25 030	24 540	31820	33680

Taulukko 7.7. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittuja kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski- ja mediaaniarvot ja niitä vastaavat etäisyydet reitillä Kempele–Vantaa–Kempele. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu seuranta-ajan keskihajonta.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	169	108	166	166	168	129
Seuranta-ajan mediaani [s]	82	58	81	83	82	66
Seuranta-ajan keskihajonta [s]	231	186	220	225	226	202
Keskiarvoa vastaava etäisyys [m]	3820	2480	3700	3770	3780	2950
Mediaania vastaava etäisyys [m]	1850	1330	1810	1880	1840	1510

Taulukon 7.6 arvoista nähdään, että seuranta-ajan keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa 110 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 88 sekuntia. Mediaaniarvot ovat huomattavasti keskiarvoja lyhyempiä ja seuranta-ajan mediaanien välinen ero hyvin pieni: HCT-yhdistelmän tapauksessa seuranta-ajan mediaani oli 33 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 34 sekuntia. Lisäksi riippumattomien otosten t-testi osoitti, etteivät seuranta-aikojen keskiarvot eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

Taulukon 7.7 arvoja laskettaessa ei ole huomioitu lentäviä ja jono-ohituksia, joissa seuranta-aika oli nolla sekuntia. Niinpä taulukon 7.7 arvot ovat suurempia kuin taulukon 7.6 arvot. Taulukosta 7.7 nähdään, että keskimääräinen seuranta-aika ennen kiihdytysohitusta on ollut HCT-yhdistelmän ohituksissa 168 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 129 sekuntia. Seuranta-ajan mediaaniarvo on puolestaan HCT-yhdistelmän tapauksessa 82 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 66 sekuntia. Kempeleeseen ajetuilla matkoilla yhdistelmien väliset erot ovat hyvin pieniä, kun taas Vantaalle ajetuilla matkoilla verrokkiyhdistelmän seuranta-ajat ovat HCT-yhdistelmää lyhyempiä. Ero ei kuitenkaan ollut t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä.

Kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen pituuksia vertailtiin myös ajoneuvotyyppien mukaan jaoteltuna. Havainnot HCT-yhdistelmän kiihdytysohitukseen liittyen on esitetty taulukossa 7.8 ja havainnot verrokkiyhdistelmän kiihdytysohitukseen liittyen on esitetty taulukossa 7.9.

Taulukko 7.8. Reitillä Kempele–Vantaa–Kempele liikennöivän HCT-ajoneuvoyhdistelmän kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja ohittaneiden ajoneuvojen ajoneuvotyyppien mukaan jaoteltuina.

Ohittava ajoneuvo	Henkilö-auto	Paketti-auto	Peräkäräyllinen henkilö- tai paketti-auto	Raskas ajoneuvo	Moottori-pyörä
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	173	86	312	638	64
Seuranta-ajan mediaani [s]	82	71	312	638	76
Seuranta-ajan maksimi [s]	1408	169	312	638	106
Havaintojen määrä [kpl]	139	9	1	1	5

Taulukko 7.9. Reitillä Kempele–Vantaa–Kempele liikennöivän verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja ohittaneiden ajoneuvojen ajoneuvotyyppien mukaan ja oteltuina.

Ohittava ajoneuvo	Henkilö-auto	Paketti-auto	Peräkärryllinen henkilö- tai pakettiauto	Raskas ajoneuvo	Moottoripyörä
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	134	60	102	345	48
Seuranta-ajan mediaani [s]	67	31	102	345	48
Seuranta-ajan maksimi [s]	1464	190	102	345	50
Havaintojen määrä [kpl]	109	9	1	1	2

Taulukoista 7.8 ja 7.9 on syytä huomata ensimmäisenä, että valtaosa sekä HCT- että verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksista oli henkilöautojen suorittamia. Kummankin yhdistelmän tapauksessa havaintoja pakettiautojen suorittamista kiihdytysohituksista tehtiin yhdeksän kappaletta, mutta peräkärryllisten henkilö- tai pakettiautojen, raskaiden ajoneuvojen ja moottoripyörien suorittamia kiihdytysohituksia havaittiin vain vähän. Niinpä ajoneuvotyyppien välisistä eroista seuranta-aikojen kestoihin liittyen ei voi näiden tietojen perusteella tehdä yleistettäviä johtopäätöksiä. Tulokset antavat kuitenkin osviittaa siitä, että raskaiden ajoneuvojen sekä peräkärryllisten henkilö- ja pakettiautojen seuranta-ajat ovat pidempiä kuin henkilöautoilla. Tämä on luonnollista, kun otetaan huomioon ajoneuvokohtaiset nopeusrajoitukset sekä edellä mainittujen ajoneuvotyyppien kiihtyvyyssominaisuudet. Moottoripyörien seuranta-ajat ovat puolestaan hieman henkilöautojen seuranta-aikoja lyhyempiä, mikä selittyy esimerkiksi henkilöautoja paremmilla kiihtyvyyssominaisuuksilla.

Kaksikaistaisilla tiealueilla tapahtuneita ohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen lisäksi tutkittiin niiden seuranta-aikojen kestoja, jotka eivät päättyneet ohitukseen kaksikaistaisella tiealueella. Koska Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä on lukuisia ohituskaisioita, monet näistä jonotuksista päättyivät ohituskaisioihin. Muita syitä jonotuksen päättymiseen olivat esimerkiksi jonottavan ajoneuvon tai tutkittavan ajoneuvoyhdistelmän liittyminen pois tutkittavalta tieltä. Taulukossa 7.10 on kuvattu tiilastollisia tunnuslukuja niistä jonotuksista, jotka eivät päättyneet ohitukseen kaksikaistaisella tiealueella.

Taulukko 7.10. Sellaisten seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella. Taulukossa on ilmoitettu myös kyseisten seuranta-aikojen summa sekä havaintojen lukumäärä. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu seuranta-ajan keski-, mediaani- ja maksimiarvoja vastaavien etäisyyksien arvot. Tulokset koskevat reittiä Kempele–Vantaa–Kempele.

Tarkasteltava ajoneuvo	HCT, Vantaalle	Verrokki, Vantaalle	HCT, Kempel.	Verrokki, Kempel.	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	410	287	295	316	354	304
Seuranta-ajan mediaani [s]	209	203	191	210	198	206
Seuranta-ajan keskihajonta [s]	491	279	294	315	491	301
Seuranta-ajan maksimi [s]	4221	1554	1422	1399	4221	1554
Seuranta-aika yhteensä [hh:mm:ss]	11:29:26	4:13:38	7:57:16	6:34:23	19:26:42	10:48:01
Havaintojen määrä [kpl]	101	53	97	75	198	128
Keskiarvoa vastaava etäisyys [m]	9260	6600	6580	7170	7960	6950
Mediaania vastaava etäisyys [m]	4720	4670	4260	4760	4450	4710
Maksimiarvoa vastaava etäisyys [m]	95 380	35 750	31 720	31 730	95 380	35 750

Taulukosta 7.10 nähdään, että sellaisissa jonotuksissa, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tiealueella, jonotusajat olivat pidempiä kuin ohituksiin päättäneissä jonotuksissa. Tällaisten seuranta-aikojen pituuden keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 354 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 304 sekuntia. Keskiarvojen ero ei ollut riippumattomien otosten t-testin perusteella tilastollisesti merkitsevä. Mediaaniarvot olivat noin 100–150 sekuntia keskiarvoja lyhyempiä: HCT-yhdistelmän tapauksessa seuranta-aikojen mediaaniarvo oli 198 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 206 sekuntia. Taulukosta 7.10 nähdään myös, että seuranta-ajan keskihajonta oli HCT-yhdistelmän tapauksessa lähes 200 sekuntia suurempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. HCT-yhdistelmän materiaalissa siis oli verrokkiyhdistelmän materiaalia enemmän tavallista pidempiä seuranta-aikoja, jotka nostivat seuranta-ajan keskiarvoa. Lisäksi havaintojen määrä ja sen myötä seuranta-aikojen yhteenlaskettu kesto ovat HCT-yhdistelmän tapauksessa verrokkiyhdistelmää suurempia. Pitää kuitenkin huomioda, että liikennemäärät olivat HCT-yhdistelmän

ajamien matkojen aikana keskimäärin suurempia kuin verrokkiyhdistelmän ajamien matkojen aikana. Tällä on todennäköisesti merkittävä vaikutus seuranta-aikahavaintojen suurempaan lukumäärään ja seuranta-aikojen yhteenlaskettuun keston.

Lisäksi tulee huomioda, että paitsi seuranta-aikahavaintoja, myös ohituksia havaittiin HCT-yhdistelmän materiaalissa enemmän kuin verrokkiyhdistelmän materiaalissa. HCT- ja verrokkiyhdistelmän välisten erojen tutkimiseksi laskettiin, kuinka suuri prosentuaalinen osuus yhdistelmien takana ajaneista ensimmäisistä jonottajista ei suorittanut ohitusta kaksikaistaisella tieosuudella, vaan poistui jonosta jollain muulla tavalla. HCT-yhdistelmän tapauksessa 56,1 % ensimmäisenä jonottajana ajaneista ajoneuvoista ei suorittanut ohitusta kaksikaistaisella tieosuudella. Vastaava luku verrokkiyhdistelmän tapauksessa oli 51,2 %. Toisin sanoen hieman suurempi osuus HCT-yhdistelmän saavuttaneiden ajoneuvojen kuljettajista päätti olla ohittamatta edellä ajavaa ajoneuvoyhdistelmää kaksikaistaisella tieosuudella. Huomionarvoista on lisäksi se, että kummankin yhdistelmän saavuttaneista kuljettajista yli puolet päätti olla ohittamatta edellä ajavaa yhdistelmäajoneuvoa kaksikaistaisella tieosuudella. Lukua nostaa todennäköisesti merkittävästi se, että Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä on runsaasti ohituskaistoja. Niinpä suuri osa niistä jonotuksista, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tiellä, päättyi ohitukseen ohituskaistallisella tieosuudella.

Sekä HCT- että verrokkiyhdistelmän tapauksessa niissä jonotuksissa, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tiellä, noin 80 % tapauksista oli sellaisia, joissa jonottajana oli henkilöauto. Henkilöautojen osuus kumulatiivisesta jonotusajasta oli kuitenkin hieman pienempi; HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 75 % ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 67 %. Raskaita ajoneuvoja oli jonottajista kummankin yhdistelmän tapauksessa noin 7 %, mutta niiden osuus kumulatiivisesta jonotusajasta oli suurempi, HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 17 % ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 15 %. HCT-yhdistelmän tapauksessa pakettiautoja oli jonottajista noin 9 % ja niiden osuus jonotusajasta oli noin 6 %. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa peräkärryllisiä henkilö- tai pakettiautoja oli noin 7 %, ja niiden osuus jonotusajasta oli noin 14 %. Muiden ajoneuvotyyppien osuus jonottajista ja jonotusajasta oli hyvin vähäinen.

Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Taulukkoon 7.11 on listattu kaikista reitin Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista lasketut seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvot. Taulukossa 7.12 on puolestaan esitetty vastaavat arvot ottaen huomioon vain kiihdytysohitukset. Taulukoissa on ilmoitettu lisäksi aika-arvoja vastaavat etäisyydet, jotka on laskettu käyttäen ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksien keskiarvoa. HCT-yhdistelmän keskinopeuksien keskiarvo oli Lappeenrantaan ajettaessa 77,8 km/h ja Savonlinnaan ajettaessa 76,8 km/h. Verrokkiyhdistelmän keskinopeus oli puolestaan Lappeenrantaan ajettaessa 81,8 km/h ja Savonlinnan suuntaan ajettaessa 83,3 km/h.

Taulukko 7.11. Ohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvot ja niitä vastaavat etäisyydet reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna. Arvot on laskettu kaikista kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu seuranta-ajan keskihajonta.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:linnaan	Verrokki, S:linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	129	76	90	78	107	78
Seuranta-ajan mediaani [s]	34	24	45	41	42	33
Seuranta-ajan keskihajonta [s]	224	155	141	96	184	140
Maksimiseuranta-aika [s]	1492	1032	786	478	1492	1032
Keskiarvoa vastaava etäisyys [m]	2790	1710	1920	1810	2300	1780
Mediaania vastaava etäisyys [m]	730	540	960	950	900	750
Maksimiarvoa vastaava etäisyys [m]	32240	23280	16760	11070	32240	23280

Taulukko 7.12. Reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittuja kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski- ja mediaaniarvot ja niitä vastaavat etäisyydet. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu seuranta-ajan keskihajonta.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:linnaan	Verrokki, S:linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	186	125	126	99	152	115
Seuranta-ajan mediaani [s]	116	59	65	81	79	62
Seuranta-ajan keskihajonta [s]	249	181	153	98	203	157
Keskiarvoa vastaava etäisyys [m]	4020	2820	2690	2290	3260	1780
Mediaania vastaava etäisyys [m]	2510	1330	1390	1880	1700	1420

Taulukosta 7.11 nähdään, että seuranta-ajan keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa 107 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 78 sekuntia. Mediaaniarvot olivat keskiarvoja lyhyempiä: HCT-yhdistelmän tapauksessa 42 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 33 sekuntia. Seuranta-ajat HCT-yhdistelmän ohituksissa olivat siis keskimäärin hieman pidempiä kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa, mutta keskiarvojen ero ei kuitenkaan ollut riippumattomien otosten t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä.

Taulukossa 7.12 esitetyt seuranta-aikojen keski- ja mediaaniarvot ovat taulukossa 7.11 esitettyjä suurempia, sillä huomioon on otettu vain kiihdytysohitukset. Kiihdytysohituksia edeltäneen seuranta-ajan pituus oli HCT-yhdistelmän ohituksissa 152 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 115 sekuntia. Vastaavat mediaaniarvot olivat 79 sekuntia ja 62 sekuntia. Lappeenrantaan ajetuilla matkoilla seuranta-ajat olivat HCT-yhdistelmän kiihdytysohituksissa huomattavasti pidempiä kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Savonlinnan suuntaan ajettaessa keskiarvojen ero oli pienempi, ja seuranta-ajan mediaaniarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa lyhyempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Kummassakaan tarkastelusuunnassa seuranta-aikojen keskiarvojen ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä.

Kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen pituuksia vertailtiin myös ajoneuvotyyppien mukaan jaoteltuna. Havainnot HCT-yhdistelmän kiihdytysohituksiin liittyen on esitetty taulukossa 7.13 ja verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksiin liittyen taulukossa 7.14.

Taulukko 7.13. Reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna liikennöivän HCT-ajoneuvoyhdistelmän kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja ohittaneiden ajoneuvojen ajoneuvotyyppien mukaan jaoteltuina.

Ohittava ajoneuvo	Henkilö-auto	Pakettiauto	Raskas ajoneuvo	Moottoripyörä
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	135	307	289	51
Seuranta-ajan mediaani [s]	70	182	285	21
Seuranta-ajan maksimi [s]	786	1492	502	119
Havaintojen määrä [kpl]	104	12	3	5

Taulukko 7.14. Reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna liikennöivän verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja ohittaneiden ajoneuvojen ajoneuvotyyppien mukaan jaoteltuina.

Ohittava ajoneuvo	Henkilö-auto	Paketti-auto	Peräkärrollinen henkilö- tai pakettiauto	Moottori-pyörä	Matkailuauto
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	116	68	314	48	124
Seuranta-ajan mediaani [s]	64	38	314	48	124
Seuranta-ajan maksimi [s]	1032	235	468	54	124
Havaintojen määrä [kpl]	91	7	2	2	1

Taulukoista 7.13 ja 7.14 nähdään, että myös Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä valtaosa kiihdytysohituksista oli henkilöautojen suorittamia. Toiseksi eniten havaintoja tehtiin pakettiautoista, mutta muita ajoneuvoryhmiä oli kiihdytysohitusten suorittajista vain pieni osa. Taulukoiden tiedot antavat viitteitä siitä, että hitaammilla ja kiihtyvyyssominaisuuksiltaan huonommilla ajoneuvoilla, kuten raskailla ajoneuvoilla ja peräkärrollisillä ajoneuvoilla seuranta-ajat ovat pidempiä kuin henkilöautoilla. Vastaavasti moottoripyörillä seuranta-ajat ovat henkilöautoja lyhyempiä. HCT-yhdistelmän tapauksessa pakettiautojen seuranta-ajat olivat merkittävästi pidempiä kuin henkilöautoilla, kun taas verrokkiyhdistelmän tapauksessa pakettiautojen seuranta-ajat olivat lyhyempiä kuin henkilöautoilla. Havaintojen vähäisen määrän vuoksi luotettavia johtopäätöksiä ei kuitenkaan voi vetää.

Kuten muillakin reiteillä, myös Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä tutkittiin myös niiden jonotusten kestoja, joissa jonotus ei päättynyt ohitukseen kaksikaisella tieosuudella, vaan esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmän tai jonottajan liittymiseen pois tarkasteltavalta tieltä. Näiden tapausten seuranta-ajoista laskettuja tilastollisia tunnuslukuja on esitetty taulukossa 7.15.

Taulukko 7.15. Sellaisten seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella. Taulukossa on ilmoitettu myös kyseisten seuranta-aikojen summa sekä havaintojen lukumäärä. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu seuranta-ajan keski-, mediaani- ja maksimiarvoja vastaavien etäisyyksien arvot. Tulokset koskevat reittiä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Ohitettava ajoneuvo	HCT, L:rantaan	Verrokki, L:rantaan	HCT, S:linnaan	Verrokki, S:linnaan	HCT, yht.	Verrokki, yht.
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	407	393	548	376	467	385
Seuranta-ajan mediaani [s]	300	258	428	249	369	249
Seuranta-ajan keskihajonta [s]	331	404	464	311	400	364
Seuranta-ajan maksimi [s]	795	1923	2020	1179	2020	1923
Seuranta-aika yhteensä [hh:mm:ss]	8:01:27	5:01:37	8:03:45	4:04:08	16:05:12	9:05:45
Havaintojen määrä [kpl]	71	46	53	39	124	85
Keskiarvoa vastaava etäisyys [m]	8790	8870	11690	8700	10030	8800
Mediaania vastaava etäisyys [m]	6480	5820	9130	5760	7920	5690
Maksimiarvoa vastaava etäisyys [m]	17180	43380	43080	27290	43080	43380

Taulukosta 7.15 nähdään, että ne jonotukset, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisilla tieosuuksilla, olivat molemmissa tarkastelusuunnissa HCT-yhdistelmän tapauksessa sekä keski- että mediaaniarvoiltaan pidempiä kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Seuranta-ajan keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 467 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 385 sekuntia. Keskiarvojen ero ei kuitenkaan riippumattomien otosten t-testin mukaan ole tilastollisesti merkitsevä. Myös seuranta-ajan keskihajonta oli HCT-yhdistelmän tapauksessa keskimäärin hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Havaintojen lukumäärä sekä seuranta-aikojen summa oli HCT-yhdistelmän tapauksessa suurempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa, mutta kuten luvussa 7.1 todettiin, myös liikennemäärät olivat HCT-yhdistelmän ajamien matkojen aikana keskimäärin suurempia kuin verrokkiyhdistelmän ajamien matkojen aikana. Tämä luonnollisesti lisää jonoutumista ja kasvattaa keskimääräisten

seuranta-aikojen pituutta. Lisäksi on huomioitava, että jonotusten lisäksi myös ohituksia havaittiin HCT-yhdistelmän materiaalissa enemmän kuin verrokkiyhdistelmän materiaalissa. Vertailun helpottamiseksi laskettiin, kuinka suuri osuus yhdistelmien takana ajaneista ensimmäisistä jonottajista ei suorittanut ohitusta, vaan poistui jonosta jostain muusta syystä. HCT-yhdistelmän tapauksessa 50,0 % ajoneuvoyhdistelmän takana ajaneista ensimmäisistä jonottajista ohitti yhdistelmän ja 50,0 % poistui jonosta jollain muulla tavalla. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa 54,8 % ensimmäisistä jonottajista ohitti yhdistelmän ja 45,2 % poistui jonosta jollain muulla tavalla. Voidaan siis todeta, että hieman suurempi osa HCT-yhdistelmän saavuttaneista ensimmäisistä jonottajista päätti olla ohittamatta edellä ajavaa yhdistelmää.

Jonotuksia, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tiellä, havaittiin HCT-yhdistelmän materiaalissa 124 kappaletta. Jonottajista noin 70 % oli henkilöautoja, ja sekä pakettiautoja että raskaita ajoneuvoja oli hieman yli kymmenen prosenttia muiden ajoneuvoluokkien osuuden jäädessä hyvin pieniksi. Verrokkiyhdistelmän materiaalissa jonotuksia havaittiin 85 kappaletta. Näistä yli 80 % oli henkilöautoja, noin 10 % pakettiautoja ja noin 6 % raskaita ajoneuvoja. Kummankin yhdistelmän tapauksessa henkilöautojen osuus seuranta-ajan summasta oli pienempi kuin henkilöautojen osuus jonottajien lukumäärästä, ja vastaavasti raskaiden ajoneuvojen osuus seuranta-aikojen summasta suurempi kuin niiden osuus jonottajien lukumäärästä.

Reitit yhdessä tarkasteltuna

Jononmuodostusta ajoneuvoyhdistelmien takana tutkittiin analysoimalla keskimääräisten jononpituuksien lisäksi seuranta-aikoja eli sitä, kuinka kauan ajoneuvot ajoivat ajoneuvoyhdistelmien takana jonossa ennen kuin lähtivät ohittamaan tai ennen kuin jonotus jostain muusta syystä päättyi. Seuranta-ajaksi määriteltiin aika, jonka ajoneuvo ajoi HCT- tai verrokkiyhdistelmän perässä ensimmäisenä jonottavana ajoneuvona. Vertailemalla seuranta-aikojen pituuksia, seuranta-aikahavaintojen määrää sekä muita tilastollisia tunnuslukuja seuranta-aikoihin liittyen, voitiin tutkia, millaisia vaikutuksia seuranta-aikoihin on sillä, että ohitettavana on tavallista pidempi, pitkä kuljetus -kyltillä varustettu ajoneuvoyhdistelmä. Seuranta-aikoja vertailtiin erikseen niissä tapauksissa, joissa jonotus päättyi ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella, sekä niissä tapauksissa, joissa jonotus päättyi jostain muusta syystä.

Kun tutkittiin kaikkia kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneita ohituksia edeltäneitä seuranta-aikoja, havaittiin, että kaikilla reiteillä seuranta-ajan keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa pidempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Millään reitillä HCT- ja verrokkiyhdistelmän välinen seuranta-aikojen keskiarvojen ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Myös seuranta-ajan mediaaniarvo oli pääsääntöisesti HCT-yhdistelmän ohituksissa pidempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa, mutta mediaaniarvot olivat huomattavasti keskiarvoja lyhyempiä. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä seuranta-ajan keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 109 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 92 sekuntia. Mediaaniarvo oli puolestaan HCT-yhdistelmän tapauksessa 36 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 24 sekuntia. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä seuranta-ajan keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 110 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 88 sekuntia, kun taas mediaaniarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 33 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 34 sekuntia. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä seuranta-ajan keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 107 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 78 sekuntia. Mediaaniarvo oli puolestaan HCT-yhdistelmän tapauksessa 42 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 33 sekuntia. Edellä esitetyistä luvuista

havaitaan, että kaikkia ohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski- ja mediaaniarvot olivat kaikilla kolmella reitillä melko lähellä toisiaan. Myös HCT- ja verrokkiyhdistelmien väliset erot olivat samaa suuruusluokkaa kaikilla reiteillä.

Edellä mainitut seuranta-aikojen tilastolliset tunnusluvut on laskettu kaikista kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista. Lukuja laskettaessa on siis otettu huomioon myös lentävät ohitukset ja jono-ohitukset, joissa seuranta-aika määriteltiin nol-laksi. Kullakin reitillä laskettiin lisäksi seuranta-aikojen tilastolliset tunnusluvut vain kiihdytysohituksia edeltäneistä jonotuksista. Näin saadut luvut olivat korkeampia, sillä nollaksi merkityt seuranta-ajat jäivät tarkastelusta pois. Toisaalta näin saatuja lukuja voidaan pitää myös vertailukelpoisempina, sillä kiihdytysohitusten, lentävien ohitus-ten ja jono-ohitusten suhteelliset osuudet vaihtelivat reiteittäin.

Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aiko-jen keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 162 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 151 sekuntia. Mediaaniarvo oli HCT-yhdistelmällä 79 sekuntia ja verrok-kiyhdistelmällä 82 sekuntia. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keskiarvo oli puolestaan HCT-yhdistelmän tapauksessa 168 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 129 sekuntia mediaaniarvojen ol-lessa HCT-yhdistelmän tapauksessa 82 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 66 sekuntia. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä kiihdytysohituksia edeltä-neiden seuranta-aikojen keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 152 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 115 sekuntia. Mediaaniarvo oli puolestaan HCT-yhdistelmän tapauksessa 79 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 62 sekuntia. Edellä mainituista luvuista nähdään, että keski- ja mediaaniarvot ovat kaikilla reiteillä samaa suuruusluokkaa. Kaikilla reiteillä kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-ai-kojen keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa pidempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa, mutta millään reiteistä keskiarvojen ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän vä-lillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Pienin keskiarvojen ero havaittiin Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä. Tämä oli myös ainoa reitti, jolla seuranta-ajan mediaaniarvo oli verrokkiyhdistelmän tapauksessa suurempi kuin HCT-yhdistelmän tapauksessa.

Ohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen lisäksi tutkittiin niiden jonotusten kestoja, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella. Näissä tapauksissa seuranta-ajat olivat sekä keski- että mediaaniarvoiltaan merkittävästi pidempiä kuin ohituksiin päättäneissä jonotuksissa. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä tällaisten seuranta-aikojen pituuden keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 469 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 387 sekuntia, kun taas seuranta-ajan mediaani oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 282 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 144 sekuntia. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä vastaavien seuranta-aikojen kes-kiarvo oli HCT-yhdistelmällä 354 sekuntia ja verrokkiyhdistelmällä 304 sekuntia, kun mediaaniarvot olivat 198 sekuntia HCT-yhdistelmällä ja 206 sekuntia verrokkiyhdistel-mällä. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä vastaavien seuranta-aikojen keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 467 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 385 sekuntia, kun mediaaniarvot olivat HCT-yhdistelmällä 369 sekuntia ja verrokkiyh-distelmällä 249 sekuntia.

Seuranta-aikojen keskiarvot ja pääsääntöisesti myös mediaaniarvot olivat siis HCT-yhdistelmien tapauksessa suurempia kuin verrokkiyhdistelmien tapauksessa, mutta tilastollisten testien mukaan HCT- ja verrokkiyhdistelmien väliset erot keskimääräisissä seuranta-ajoissa eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Kun otetaan huomioon, että myös pisimmät havaitut seuranta-ajat sekä seuranta-aikojen kumulatiiviset summat olivat HCT-yhdistelmien tapauksessa suurempia kuin verrokkiyhdistelmien tapauksessa, voidaan todeta, että HCT-yhdistelmien perässä ajettiin keskimäärin pidempiä matkoja suorittamatta ohitusta. Osalle kuljettajista pitkä kuljetus -kyltillä varustetun, tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ohittamatta jättäminen saattoi olla yhdistelmän pituudesta johtunut tietoinen valinta. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että liikennemäärät olivat HCT-yhdistelmien ajamilla matkoilla keskimäärin suurempia kuin verrokkiyhdistelmien ajamilla matkoilla. Suurempi liikennemäärä luonnollisesti vähentää pitkien aikavälien esiintymistodennäköisyyttä liikennevirrassa, joten ohittamattajättämisspäätöksiä suurempi määrä HCT-yhdistelmien tapauksessa selittyy osittain myös suuremmilla liikennemäärillä.

Kaikilla reiteillä sellaisten jonotusten määrä, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tiellä, oli HCT-yhdistelmän materiaalissa suurempi kuin verrokkiyhdistelmän materiaalissa. Havaintojen määriä vertailtaessa pitää kuitenkin huomioida, että kaikilla reiteillä myös HCT-yhdistelmien ohituksia havaittiin verrokkiyhdistelmien ohituksia enemmän. Vertailun helpottamiseksi kullakin reitillä laskettiin, kuinka suuri osuus kunkin ajoneuvoyhdistelmän takana ensimmäisenä jonottajana ajaneista kuljettajista ei ohittanut edellä ajavaa yhdistelmää kaksikaistaisella tieosuudella. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä 24,3 % HCT-yhdistelmän takana ensimmäisenä jonottaneista ajoneuvoista ei ohittanut edellä ajavaa yhdistelmää kaksikaistaisella tieosuudella, kun vastaava luku verrokkiyhdistelmälle oli 25,2 %. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä vastaava luku oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 56,1 % ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 51,2 %. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä vastaava luku oli puolestaan HCT-yhdistelmän tapauksessa 50 % ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 45,2 %. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä noin neljäsosa yhdistelmien takana ajaneista ajoneuvoista ei siis ohittanut ajoneuvoyhdistelmää kaksikaistaisella tieosuudella. HCT-yhdistelmän tapauksessa hieman suurempi osuus kuljettajista suoritti ohituksen, mutta ero yhdistelmien välillä on vain 0,9 prosenttiyksikköä. Kahdella muulla reitillä huomattavasti suurempi osa yhdistelmien takana ensimmäisinä jonottajina ajaneista kuljettajista ei suorittanut yhdistelmän ohitusta kaksikaistaisella tieosuudella. Lisäksi kummallakin reitillä HCT-yhdistelmän jätti ohittamatta noin 5 prosenttiyksikköä suurempi osuus ajoneuvoyhdistelmän saavuttaneista kuljettajista kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Kuten aiemmin todettiin, osa ajoneuvoyhdistelmien välisestä erosta selittyy sillä, että HCT-yhdistelmien perässä oltiin valmiita ajamaan pidempiä matkoja suorittamatta ohitusta sekä siitä, että edellä ajava ajoneuvoyhdistelmä jätettiin ohittamatta hieman useammin, mikäli kyseessä oli tavallista pidempi ajoneuvoyhdistelmä. On kuitenkin huomattava, että merkittävä tekijä HCT- ja verrokkiyhdistelmien välisille eroille on myös suuremmat liikennemäärät HCT-yhdistelmien ajamilla matkoilla.

8 Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen

8.1 Keskinopeudet

Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksia tutkittiin jakamalla ajoneuvoyhdistelmille yhtenevän reitin pituus matkaan käytetyllä ajalla. Taukoihin käytetty aika luonnollisesti vähennettiin kokonaismatka-ajasta keskinopeutta laskettaessa. Rovaniemen ja Ivalon väliltä kerätystä materiaalista keskinopeuksia laskettiin 4.10.2015–5.11.2015 väliseltä ajalta niiltä päiviltä, joilta myös ohituksia ja jonoutumista analysoitiin. HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus tyhjänä Rovaniemen keskustan ja Ivalon kuormanvaihtopaikan välisellä, noin 286 kilometrin mittaisella matkalla oli alimmillaan 75,1 km/h ja enimmillään 81,4 km/h. Keskinopeuksien aritmeettinen keskiarvo kahdeksalla tyhjänä ajettulla matkalla oli 78,6 km/h. Verrokkiyhdistelmän keskinopeus tyhjänä vaihteli puolestaan välillä 76,3–84,1 km/h ja keskinopeuksien aritmeettinen keskiarvo oli 81,5 km/h. Kuormattuna ajettaessa keskinopeudet olivat kummallakin ajoneuvoyhdistelmästä merkittävästi alhaisempia: kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus Ivalon kuormanvaihtopaikan ja Rovaniemen keskustan välillä vaihteli välillä 71,2–77,7 km/h. Kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeuksien aritmeettinen keskiarvo yhdeksällä kuormattuna ajettulla matkalla oli 74,6 km/h. Kuormatun verrokkiyhdistelmän keskinopeus puolestaan vaihteli välillä 71,6–78,3 km/h keskinopeuksien aritmeettisen keskiarvon ollessa 75,7 km/h.

Ajoneuvoyhdistelmien keskinopeudet yhdensuuntaisten matkojen aikana siis vertautuvat toisiinsa samalla tavoin kuin taulukossa 6.14 esitetyt nopeudet ohitusten aikana: molempien ajoneuvoyhdistelmien keskinopeudet olivat kuormattuina merkittävästi alhaisempia kuin tyhjänä ajettaessa. HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus oli kuormattuna keskimäärin noin 4 km/h alhaisempi kuin tyhjänä, verrokkiyhdistelmän keskinopeus kuormattuna oli puolestaan noin 6 km/h alhaisempi kuin tyhjänä. Taulukossa 6.14 havaitut erot HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohitusten aikaisissa nopeuksissa toistuivat myös keskinopeuksissa: HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus oli tyhjänä keskimäärin 3 km/h tyhjän verrokkiyhdistelmän keskinopeutta alhaisempi, ja kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeus oli keskimäärin 1 km/h kuormatun verrokin nopeutta alhaisempi. Havaintojen perusteella näyttää siltä, että kuormaaminen vaikutti enemmän verrokin kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeuteen.

Ohitusten aikaisten nopeuksien ja yhdensuuntaisten matkojen keskinopeuksien lisäksi Rovaniemen ja Ivalon välillä liikennöivien ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia tutkittiin Saariselällä sijaitsevassa Magneettimäessä. Tulokset nousunopeuksiin liittyen on esitetty luvussa 8.2.

Kempele–Vantaa–Kempele

HCT- ja verrokkiyhdistelmän keskinopeuksia vertailtiin myös Kempeleen ja Vantaan väliseltä reitiltä kerätystä aineistosta. Keskinopeudet laskettiin ajoneuvoyhdistelmien yhteneviltä reitin osilta niiltä matkoilta, joilta myös ohituksia analysoitiin. Analysoidut matkat tapahtuivat joulukuun 2015 ja kesäkuun 2016 välisenä aikana. HCT-yhdistelmän keskinopeus Kempeleestä Vantaalle ajettaessa oli alimmillaan 78,2 km/h ja enimmillään 82,8 km/h. Keskinopeuksien aritmeettinen keskiarvo Kempeleestä Vantaalle ajetuilla matkoilla oli 81,3 km/h. Verrokkiyhdistelmän keskinopeus Kempeleestä

Vantaalle ajettaessa vaihteli puolestaan välillä 81,4–84,4 km/h ja keskinopeuksien aritmeettinen keskiarvo oli 82,8 km/h. Vantaalta Kempeleeseen ajetuilla matkoilla keskinopeudet olivat kummankin yhdistelmän tapauksessa hieman alhaisempia; HCT-yhdistelmän keskinopeus vaihteli välillä 79,4–80,8 km/h ja verrokkiyhdistelmän keskinopeus välillä 79,7–82,9 km/h. Keskinopeuksien aritmeettinen keskiarvo Vantaalta Kempeleeseen ajetuilla matkoilla oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 80,3 km/h ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 81,7 km/h.

Edellä esitetyistä luvuista havaitaan, että kummankin ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus oli Kempeleen suuntaan ajettaessa keskiarvoltaan noin 1 km/h alhaisempi kuin Vantaalle ajettaessa. Lisäksi havaitaan, että HCT-yhdistelmän keskinopeuden keskiarvo oli kummassakin tarkastelusuunnassa noin 1,5 km/h alhaisempi kuin verrokkiyhdistelmän keskinopeuksien keskiarvo. Voidaankin todeta, että yhdistelmien väliset keskinopeuksien erot olivat Vantaan ja Kempeleen välisellä reitillä verrattain pieniä. Kun verrataan ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksia ajoneuvoyhdistelmien nopeuksiin ohitusten aikana (taulukko 6.19), voidaan todeta, että ohitusten aikana yhdistelmien nopeudet olivat noin 0–2 km/h keskinopeuksia suurempia. Tämä on luonnollista, sillä ohitukset tapahtuivat pääsääntöisesti 100 km/h -nopeusrajoitusalueella, kun taas keskinopeuksien laskennassa mukana on myös tieosuuksia, joilla nopeusrajoitukset ja nopeudet ovat alhaisempia.

Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä tutkittiin ajoneuvoyhdistelmien nousunopeuksia Äänekoskella sijaitsevassa Petomäessä. Tulokset nousunopeuksiin liittyen on esitetty luvussa 8.2.

Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä HCT- ja verrokkiyhdistelmän keskinopeuksia vertailtiin joulukuun 2015 ja heinäkuun 2016 välisenä aikana kerätystä materiaalista. Keskinopeudet laskettiin niiltä matkoilta, joilta myös ohituksia ja jonoutumista analysoitiin. Kuten aiemmissa luvuissa on todettu, on huomattava, että Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä HCT- ja verrokkiyhdistelmän tuottama materiaali ei ollut ajallisesti täysin yhtenevää.

HCT-yhdistelmän keskinopeus Savonlinnasta Lappeenrantaan ajetuilla matkoilla oli alimmillaan 75,0 km/h ja enimmillään 79,8 km/h. Keskinopeuksien aritmeettinen keskiarvo oli 77,8 km/h. Verrokkiyhdistelmän keskinopeus Savonlinnasta Lappeenrantaan ajetuilla matkoilla vaihteli välillä 76,7–83,5 km/h aritmeettisen keskiarvon ollessa 81,2 km/h. Lappeenrannasta Savonlinnaan ajetuilla matkoilla HCT-yhdistelmän keskinopeus vaihteli välillä 74,6–78,2 km/h aritmeettisen keskiarvon ollessa 76,8 km/h. Verrokkiyhdistelmän keskinopeus Lappeenrannasta Savonlinnan suuntaan ajetuilla matkoilla vaihteli välillä 78,0–86,1 km/h aritmeettisen keskiarvon ollessa 83,3 km/h. Kun vertaillaan ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksia taulukossa 6.24 esitettyihin ohitusten aikaisiin nopeuksiin, havaitaan keskinopeuksien olleen keskimäärin noin 1–3 km/h ohitusten aikaisia nopeuksia matalampia.

Edellä esitetyistä luvuista havaitaan, että HCT-yhdistelmän keskinopeus oli Lappeenrantaan ajettaessa keskiarvoltaan 2 km/h korkeampi kuin Savonlinnaan ajettaessa. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa keskinopeuksien keskiarvo oli puolestaan Lappeenrantaan ajetuilla matkoilla noin 2 km/h alhaisempi kuin Savonlinnan suuntaan ajetuilla matkoilla. Ajoneuvoyhdistelmien välinen keskinopeuksien keskiarvojen ero oli Lappeenrantaan ajetuilla matkoilla 3,4 km/h ja Savonlinnan suuntaan ajetuilla matkoilla 6,5 km/h. Ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksien välinen ero oli siis Savonlinnan

suuntaan ajetuilla matkoilla suhteellisen suuri. Lukuja vertailtaessa on kuitenkin huomattava, että verrokkiyhdistelmän tapauksessa suurin osa Savonlinnan suuntaan ajetuista matkoista päättyi Parikkalaan, joten Savonlinnan suuntaan ajatut matkat eivät olleet reitillisesti yhteneviä. Lisäksi verrokkiyhdistelmä ajoi Savonlinnan suuntaan useimmiten tyhjänä, kun taas HCT-yhdistelmä ajoi sekä Savonlinnasta Lappeenrantaan että Lappeenrannasta Savonlinnaan kuormattuna. On myös huomattava, että HCT-yhdistelmän nopeudenrajoitin oli asetettu nopeuteen 83 km/h, kun taas verrokkiyhdistelmän nopeudenrajoitin oli asetettu nopeuteen 89 km/h.

Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä ei ole Saariselän Magneettimäen tai Äänekosken Petomäen kaltaista pitkää mäkeä, jossa raskaiden ajoneuvoyhdistelmien nopeudet laskisivat pitkäksi ajaksi selvästi muuta liikennettä alhaisemmaksi. Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän ja Kuljetus Szepaniakin verrokkiyhdistelmän nousunopeuksia vertailtiin kuitenkin Kuutostiellä Parikkalassa sijaitsevassa mäessä, jossa nopeudet tippuivat hetkellisesti noin 35–50 kilometriin tunnissa. Tämän työn yhteydessä Vaaranmäeksi kutsutun mäen alkupiste on Kuutostien ja Liuharannantien risteyskohdassa Lappeenrannan suuntaan ajettaessa. Nousunopeuksiin liittyvät tulokset esitetään luvussa 8.2.

Reitit yhdessä tarkasteltuna

Kullakin reitillä vertailtiin HCT- ja verrokkiyhdistelmän keskinopeuksia jakamalla ajoneuvoyhdistelmille yhtenevän reitin pituus matkaan käytetyllä ajalla. Taukoihin käytetty aika luonnollisesti vähennettiin kokonaismatka-ajasta keskinopeutta laskettaessa.

Kullakin tutkituista reiteistä HCT-yhdistelmien keskinopeudet olivat verrokkiyhdistelmien keskinopeuksia alhaisempia. Suuntakohtaisesti vertailtuna keskinopeuksien keskiarvojen ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä oli pääsääntöisesti 1–3 km/h. Poikkeuksen tekivät Lappeenrannasta Savonlinnan suuntaan ajatut matkat, joilla verrokkiyhdistelmän keskinopeus oli keskiarvoltaan 6,5 km/h korkeampi kuin HCT-yhdistelmällä. On kuitenkin huomioitava, että kyseisellä reitillä suurin osa verrokkiyhdistelmän Savonlinnan suuntaan ajamista matkoista päättyi Parikkalaan, joten Savonlinnan suuntaan ajatut matkat eivät olleet reitillisesti yhteneviä. Lisäksi verrokkiyhdistelmä ajoi Savonlinnan suuntaan useimmiten tyhjänä, kun taas HCT-yhdistelmä ajoi sekä Savonlinnasta Lappeenrantaan että Lappeenrannasta Savonlinnaan kuormattuna.

HCT-yhdistelmien suuntakohtaisten keskinopeuksien keskiarvot vaihtelivat välillä 74,6–81,3 km/h, ollen alhaisimmillaan Ivalosta Rovaniemelle ajetuilla matkoilla ja korkeimmillaan Kempeleestä Vantaalle ajetuilla matkoilla. Verrokkiyhdistelmien suuntakohtaisten keskinopeuksien keskiarvot vaihtelivat puolestaan välillä 75,7–83,3 km/h ollen alhaisimmillaan Ivalosta Rovaniemelle ajetuilla matkoilla ja korkeimmillaan Lappeenrannasta Savonlinnan suuntaan ajetuilla matkoilla. Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että HCT-yhdistelmien keskinopeudet olivat hieman verrokkiyhdistelmien keskinopeuksia alhaisempia, mutta kuitenkin samassa suuruusluokassa. On kuitenkin huomattava, että keskinopeuksia tutkittiin varsin rajalliselta määrältä matkoja. Ajoneuvodynamiikkaan tarkemmin keskittyvissä tutkimuksissa voitaisiin keskinopeuksia tutkia laajemmin ja selvittää eri tekijöiden vaikutuksia keskinopeuksiin.

Keskinopeuksien lisäksi kullakin reitillä vertailtiin HCT- ja verrokkiyhdistelmän nousunopeuksia yhdessä reitiltä valitussa mäessä. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä nousunopeuksia tutkittiin Inarissa sijaitsevassa Magneettimäessä, Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä nousunopeuksia tutkittiin Äänekoskella sijaitsevassa Petomäessä

ja Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä nousunopeuksia tutkittiin Parikkalassa sijaitsevassa mäessä, jota on tässä työssä nimitetty Vaaranmäeksi. Tulokset nousunopeuksiin liittyen on esitetty seuraavassa luvussa.

8.2 Nopeudet mäissä

Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä ajoneuvoyhdistelmien nousunopeuksia vertailtiin Saariselän pohjoispuolella sijaitsevassa, kuormattuna noustavassa Magneettimäessä. Nousuja tutkittiin aikaväleillä 4.10.2015–27.11.2015 ja 17.2.2016–4.3.2016 taltioidusta tutkimusmateriaalista. Materiaalissa oli sekä kuivalla syyskelillä, sateisella säällä että talviolosuhteissa suoritettuja nousuja, joten olosuhteissa esiintyi huomattavaa vaihtelua. Tutkitun ajanjakson aikana HCT-ajoneuvoyhdistelmä nousi Magneettimäen 96 kertaa ja verrokkiyhdistelmä 55 kertaa. Ero nousujen määrässä johtui siitä, että verrokkiyhdistelmä nouti puuta ajoittain myös Saariselän eteläpuolelta, jolloin reitti ei ulottunut Magneettimäkeen asti. Nousujen kestoihin, keskinopeuksiin, alimpiin nopeuksiin sekä alkunopeuksiin liittyviä tietoja on kuvattu taulukossa 8.1.

Taulukko 8.1. Inarissa sijaitsevan Magneettimäen nousujen kestojen, keski- ja alkunopeuksien sekä nousuissa havaittujen alimpien nopeuksien keskiarvoja ja keskihajonnan arvoja.

Tarkasteltava ajoneuvo	HCT-ajoneuvoyhdistelmä	Verrokkiyhdistelmä
Nousujen kestojen keskiarvo [s]	354,1	330,6
Nousujen keston keskihajonta [s]	18,0	21,0
Keskinopeuksien keskiarvo [km/h]	36,6	39,2
Keskinopeuksien keskihajonta [km/h]	1,9	2,4
Alimpien nopeuksien keskiarvo [km/h]	23,4	25,6
Alimpien nopeuksien keskihajonta [km/h]	3,3	3,7
Nousujen alkunopeuksien keskiarvo [km/h]	80,6	81,2
Nousujen alkunopeuksien keskihajonta [km/h]	2,5	3,7

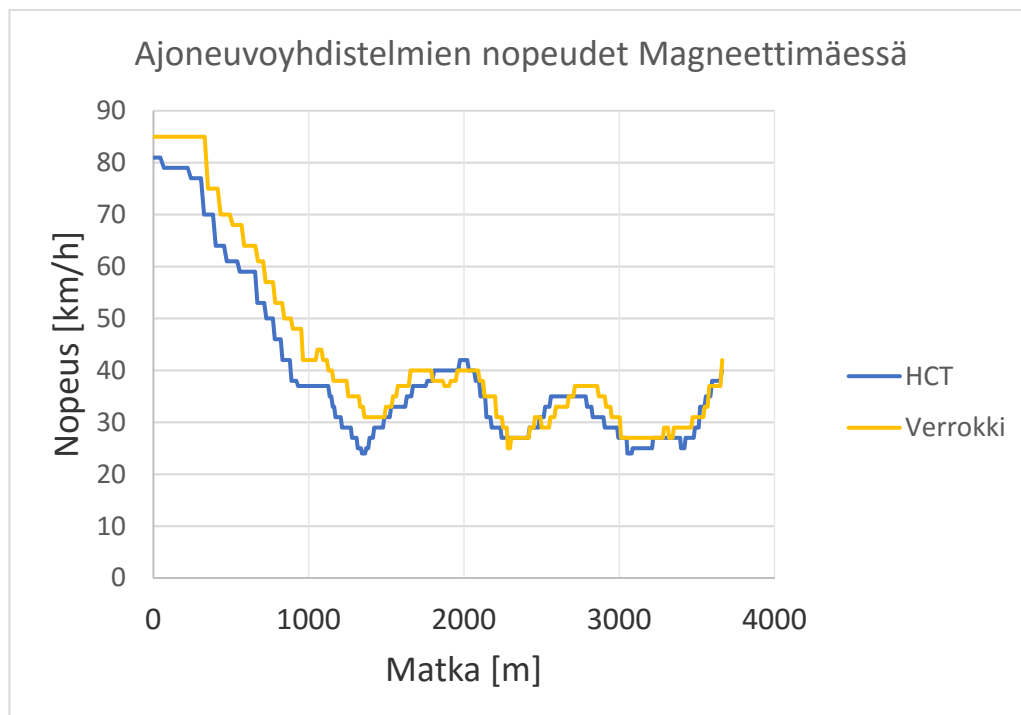
Kuten taulukosta 8.1 nähdään, noin 3600 metrin pituinen Magneettimäen nousu kesti HCT-ajoneuvoyhdistelmällä keskimäärin 23,5 sekuntia verrokkiyhdistelmää kauemmin. Ajoneuvoyhdistelmien välinen ero keskimääräisessä nousuajassa havaittiin riippumattomien otosten t-testin avulla tilastollisesti erittäin merkitseväksi (riskitaso $p < 0,001$). Nousun kesto vaihteli HCT-ajoneuvoyhdistelmällä 323–400 sekunnin ja

verrokkiyhdistelmällä 292–386 sekunnin välillä. Nousun keston ja pituuden avulla lasketun keskinopeuden keskiarvo oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa 36,6 km/h ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 39,2 km/h. Keskinopeudet nousun aikana vaihtelivat HCT-ajoneuvoyhdistelmällä 32,3–40,0 km/h ja verrokkiyhdistelmällä 33,5–44,3 km/h välillä.

Nousujen aikana havaittujen alimpien nopeuksien keskiarvo oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän suorittamissa nousuissa 23,4 km/h ja verrokkiyhdistelmän suorittamissa nousuissa 25,6 km/h. Alimpien nopeuksien keskiarvojen ero todettiin t-testillä erittäin merkitseväksi ($p < 0,001$). Sekä nousujen kestojen, keskinopeuksien että alimpien nopeuksien arvojen mediaanit olivat hyvin lähellä taulukossa ilmoitettuja keskiarvoja. Lisäksi taulukosta 8.1 nähdään, että sekä nousun keston, keskinopeuden, alimman nopeuden että alkunopeuden keskihajonta oli verrokkiyhdistelmän tapauksessa hieman suurempi kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmällä.

Taulukossa 8.1 ilmoitettujen arvojen laskennassa otettiin huomioon kahta lukuun ottamatta kaikki ajoneuvoyhdistelmien tutkittuna ajanjaksona suorittamat Magneettimäen nousut. Laskennassa ei otettu huomioon HCT-ajoneuvoyhdistelmän nousua, joka tehtiin ilman varsinaista perävaunua liukkaan kelin vuoksi. Lisäksi huomioon ei otettu nousua, jossa HCT-yhdistelmä pysähtyi Magneettimäkeen liukkauden vuoksi. Kyseisessä tapauksessa tie oli kuljettajan mukaan muuttunut lyhyessä ajassa erittäin liukkaaksi alijäähtyneenä sataneen veden vuoksi. Lisäksi ajoneuvoyhdistelmä oli kuorattu liian takapainoiseksi niin, että vetäville pyörille kohdistuva paino oli tavanomaista pienempi. Mäkeen pysähtymisen jälkeen HCT-yhdistelmä pääsi kuitenkin liikkeelle omin avuin voimansiirron lukon avulla. Liikkeelle päästyään HCT-yhdistelmä jätti varsinaisen perävaunun mäen puolivälissä sijaitsevalle levikkeelle ja nousi mäen loppuun vetäen vain puoliperävaunua. Varsinainen perävaunu vedettiin mäen päälle metsäpäähän autolla. Liukkauden vuoksi myös sillä oli vaikeuksia mäen nousemisessa.

Kuvassa 8.1 on esitetty HCT- ja verrokkiyhdistelmän nopeuden kehitystä Magneettimäen nousun aikana. Kuvaaja on piirretty sellaisten nousujen perusteella, joissa nousuaika, keskinopeus sekä alin nopeus olivat mahdollisimman lähellä taulukossa 8.1 ilmoitettuja ajoneuvoyhdistelmien keskimääräisiä arvoja. HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeustiedot on poimittu 17.2.2016 ja verrokkiyhdistelmän nopeustiedot 25.2.2016 suoritetusta noususta. Molempien nousujen aikana keli oli poutainen, talvinen ja tie osittain jäinen.



Kuva 8.1. Ajoneuvoyhdistelmien nopeus kuljetun matkan suhteen Saariselän pohjoispuolella sijaitsevan Magneettimäen nousussa. Kuvaajan tiedot on poimittu päiviltä, jotka vastasivat mahdollisimman hyvin tutkimusajanjaksolta laskettuja keskiarvoja nousun keston, keskinopeuden sekä alimman nopeuden suhteen.

Kuvasta 8.1 nähdään, että ajoneuvoyhdistelmien nopeuskuvaajat ovat muodoiltaan hyvin lähellä toisiaan. HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeusvaihtelut ovat hieman suurempia ja nopeus laskee hieman verrokkiyhdistelmän nopeutta alemmas. Toisaalta verrokkiyhdistelmän nopeus nousun alussa on hieman suurempi kuin HCT-yhdistelmällä. Kuten taulukossa 8.1 esitettiin, nopeus nousun alussa oli HCT-ajoneuvoyhdistelmällä keskimäärin 80,6 km/h ja verrokkiyhdistelmällä keskimäärin 81,2 km/h. Suurin ero ajoneuvoyhdistelmien nopeuksissa nähdään mäen ensimmäisen jyrkän osan lopussa (kuvassa noin 1400 metrin kohdalla), jossa HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeus laskee noin 25 kilometriin tunnissa, kun verrokin nopeus samassa kohdassa on hieman yli 30 kilometriä tunnissa.

Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että sekä HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeudet että alhaisimmat nopeudet Magneettimäessä olivat keskimäärin hieman pienempiä kuin verrokkiyhdistelmällä. Koska HCT-yhdistelmän nousut kestivät keskimäärin hieman kauemmin kuin verrokkiyhdistelmän nousut ja koska Magneettimäessä ohituspaikkoja on vain muutamia, aiheutti HCT-ajoneuvoyhdistelmä muille ajoneuvoille hieman verrokkiyhdistelmää suurempia viivytyksiä nousun aikana. Toisaalta HCT-ajoneuvoyhdistelmä myös päästi nousun aikana taakseen kertyneen jonon verrokkiyhdistelmää useammin ohitseen siirtymällä levikkeelle Magneettimäen päällä. Tehtyjen havaintojen perusteella erot HCT- ja verrokkiyhdistelmän mäennousukyvyssä voidaan todeta melko pieniksi. On huomioitava, että ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia tutkittiin vain Magneettimäessä, joka on haasteellisuudessaan hyvin poikkeuksellinen ja jossa nopeudet laskevat erittäin alhaisiksi. Reitit muissa mäissä erot ajoneuvoyhdistelmien nopeuksissa havaittiin karkeissa tarkasteluissa pienemmiksi kuin Magneettimäessä, mutta tarkempaa analyysiä niistä ei tehty.

Kempele–Vantaa–Kempele

Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä ajoneuvoyhdistelmien nousunopeuksia vertailtiin Äänekoskella sijaitsevassa Petomäessä, joka nousee ylös Kempeleen suuntaan ajettaessa. Nousuja tutkittiin joulukuun 2015 ja kesäkuun 2016 välisenä aikana kerätyistä materiaalista yhteensä 30 nousua kummallakin ajoneuvoyhdistelmällä. Noin puolet nousuista tapahtui talvikaudella ja noin puolet kevät- ja kesäkaudella. Nousujen kestoihin, keskinopeuksiin, alimpiin nopeuksiin sekä alkunopeuksiin liittyviä tietoja on kuvattu taulukossa 8.2.

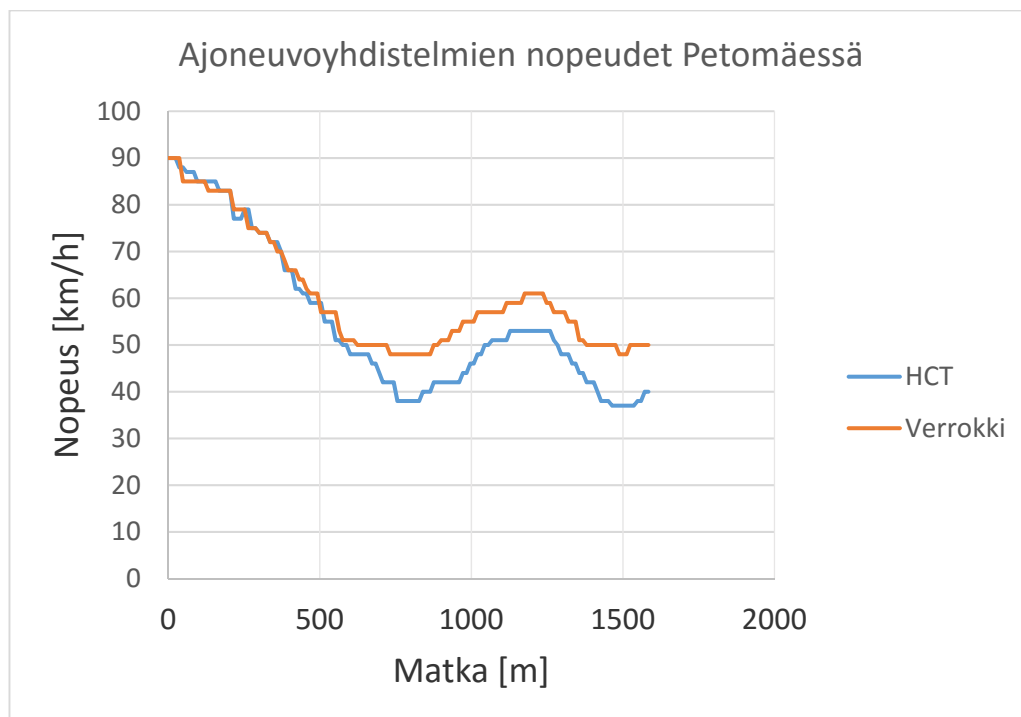
Taulukko 8.2. Äänekoskella sijaitsevan Petomäen nousujen kestojen, keski- ja alkunopeuksien sekä nousuissa havaittujen alimpien nopeuksien keskiarvoja ja keskihajonnan arvoja.

Tarkasteltava ajoneuvo	HCT-ajoneuvoyhdistelmä	Verrokkiyhdistelmä
Nousujen kestojen keskiarvo [s]	111,1	98,2
Nousujen keston keskihajonta [s]	5,9	6,2
Keskinopeuksien keskiarvo [km/h]	51,3	58,1
Keskinopeuksien keskihajonta [km/h]	2,8	3,5
Alimpien nopeuksien keskiarvo [km/h]	36,3	46,5
Alimpien nopeuksien keskihajonta [km/h]	3,7	5,2
Nousujen alkunopeuksien keskiarvo [km/h]	91,8	90,8
Nousujen alkunopeuksien keskihajonta [km/h]	3,1	2,7

Taulukosta 8.2 nähdään, että noin 1600 metrin pituinen Petomäen nousu kesti HCT-yhdistelmältä keskimäärin 13 sekuntia verrokkiyhdistelmää kauemmin. Ajoneuvoyhdistelmien välinen ero keskimääräisessä nousuajassa havaittiin myös tilastollisesti erittäin merkitseväksi ($p < 0,001$). Nousun kesto vaihteli HCT-yhdistelmällä 99–121 sekunnin ja verrokkiyhdistelmällä 87–119 sekunnin välillä. Kustakin noususta laskettiin keskinopeus mäen pituuden ja nousuun käytetyn ajan perusteella. HCT-yhdistelmän tapauksessa keskinopeus nousun aikana vaihteli välillä 47,0–57,5 km/h keskinopeuksien keskiarvon ollessa 51,3 km/h. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa keskinopeus nousun aikana vaihteli puolestaan välillä 47,8–65,4 km/h keskinopeuksien keskiarvon ollessa 58,1 km/h.

Keskinopeuksien lisäksi kustakin noususta tutkittiin, mikä oli alin nousun aikana havaittu hetkellinen nopeus. HCT-yhdistelmän suorittamissa nousuissa alimpien havaittujen nopeuksien keskiarvo oli 36,3 km/h ja verrokkiyhdistelmän suorittamissa nousuissa 46,5 km/h. Myös alimpien havaittujen nopeuksien ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä todettiin tilastollisesti erittäin merkitseväksi ($p < 0,001$).

Kuvassa 8.2 on esitetty HCT- ja verrokkiyhdistelmän nopeuksia Petomäessä graafisessa muodossa. Kuvaaja on piirretty sellaisten nousujen perusteella, joissa nousuaika, keskinopeus ja alin nopeus olivat mahdollisimman lähellä taulukossa 8.2 esitettyjä keskimääräisiä arvoja. HCT-yhdistelmän nopeustiedot on poimittu 3.6.2016 suoritetusta noususta ja verrokkiyhdistelmän nopeustiedot 1.6.2016 suoritetusta noususta. Kummankin nousun tapauksessa keli oli kesäisen poutainen ja tie kuiva.



Kuva 8.2. HCT- ja verrokkiyhdistelmän nopeus kuljetun matkan suhteen Äänekoskella sijaitsevan Petomäen nousussa. Kuvaaja on piirretty sellaisten nousujen perusteella, joita kuvaavat arvot olivat mahdollisimman lähellä taulukossa 8.2 esitettyjä keskimääräisiä arvoja.

Kuvasta 8.2 voidaan havaita, että ajoneuvoyhdistelmien nopeudet nousun alussa ovat hyvin yhteneviä. Ensimmäisessä nousussa HCT-yhdistelmän nopeus kuitenkin laskee alle 40 kilometriin tunnissa, kun taas verrokkiyhdistelmän nopeudenlasku pysähtyy hieman alle 50 kilometriin tunnissa. Ensimmäisen nousun jälkeisessä loivassa alamäessä yhdistelmien nopeudet nousevat noin 15 tuntikilometrillä, kunnes mäen toisessa nousussa laskevat jälleen jotakuinkin samoihin lukemiin kuin ensimmäisessä nousussa. Kuvasta 8.2 nähdään, että HCT-yhdistelmän nopeus on mäen ensimmäisen nousun lopusta mäen loppuun asti noin 10 km/h alaisempi kuin verrokkiyhdistelmän nopeus.

Vaikka HCT-yhdistelmän nopeus Petomäessä todettiin verrokkiyhdistelmän nopeutta alhaisemmaksi, ei HCT-yhdistelmä aiheuta Petomäessä muulle liikenteelle verrokkiyhdistelmää suurempia viivytyksiä. Tämä johtuu siitä, että Petomäki on koko pituudeltaan 2+1 -kaistainen, minkä lisäksi ohituskaista jatkuu vielä joitakin satoja metrejä ylämäkiosuuden päättymisen jälkeen. Mikäli mäessä ei olisi ohituskaistaa, olisi HCT-yhdistelmän aiheuttama viivytys muulle liikenteelle hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmän. Petomäki on kuitenkin pituutensa ja jyrkkyytensä vuoksi reitin vaativin nousu, joten muissa mäissä ajoneuvoyhdistelmien väliset erot ovat pienempiä. Kummallakaan yhdistelmistä ei lisäksi havaittu minkäänlaisia ongelmia Petomäen nousemisessa. Nousunopeuksissa ei havaittu merkittäviä eroja myöskään talvi- ja kesäkelillä.

suoritettujen nousujen välillä. Toisaalta tienpinta oli pääsääntöisesti paljas myös talvikautena suoritettujen nousujen aikana. Nousunopeuksiin liittyviä tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava, että nousuja tarkasteltiin varsin rajallinen määrä.

Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä ei ole Saariselän Magneettimäen tai Äänekosken Petomäen kaltaista pitkää nousua, jossa raskaiden ajoneuvoyhdistelmien nopeudet laskisivat pitkäksi ajaksi selvästi muuta liikennettä alhaisemmaksi. Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän ja Kuljetus Szepaniakin verrokkiyhdistelmän nousunopeuksia vertailtiin kuitenkin Kuutostiellä Parikkalassa sijaitsevassa mäessä, jossa nopeudet tippuivat hetkellisesti suhteellisen alhaisiksi. Tämän työn yhteydessä Vaaranmäeksi kutsutun mäen alkupiste sijaitsee Kuutostien ja Liuharannantien risteyskohdassa ja mäki nousee ylös Lappeenrannan suuntaan ajettaessa. Nousuja analysoitiin joulukuun 2015 ja kesäkuun 2016 välisenä aikana kerätystä materiaalista. HCT-yhdistelmän nousuja analysoitiin 34 kappaletta ja verrokkiyhdistelmän nousuja 23 kappaletta. Kummankin yhdistelmän nousuista hieman yli puolet oli kesäaikana suoritettuja nousuja ja hieman alle puolet talvikautena suoritettuja nousuja. Nousujen kestoihin, keskinopeuksiin, alimpiin nopeuksiin sekä alkunopeuksiin liittyviä tietoja on kuvattu taulukossa 8.3.

Taulukko 8.3. Parikkalassa sijaitsevan Vaaranmäen nousujen kestojen, keski- ja alkunopeuksien sekä nousuissa havaittujen alimpien nopeuksien keskiarvoja ja keskihajonnan arvoja.

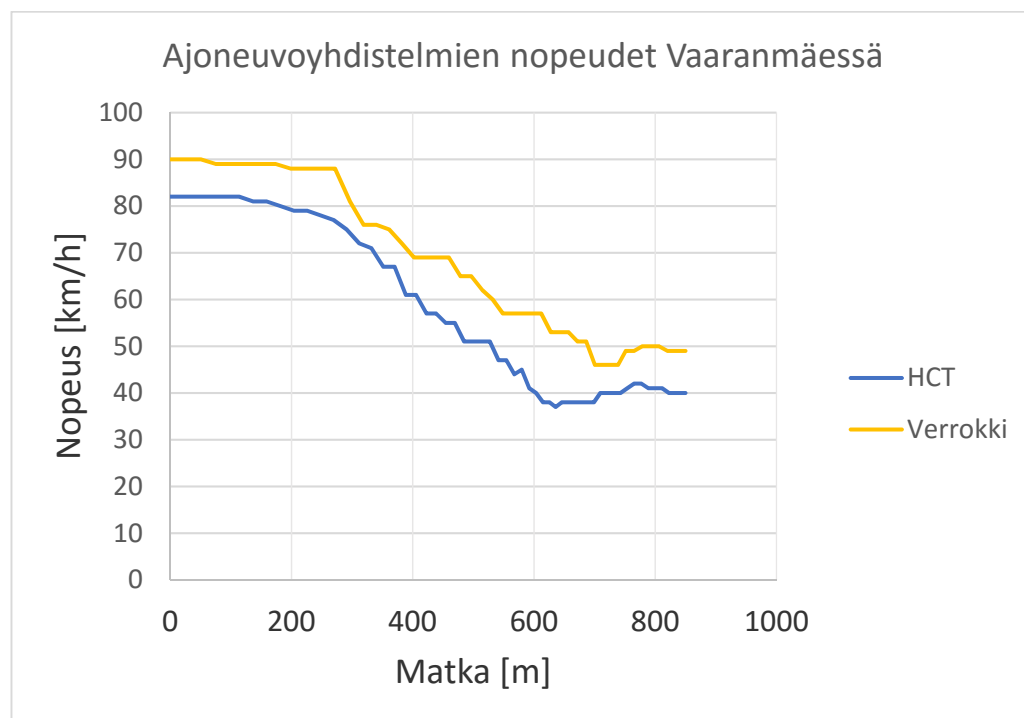
Tarkasteltava ajoneuvo	HCT-ajoneuvoyhdistelmä	Verrokkiyhdistelmä
Nousujen kestojen keskiarvo [s]	52,3	45,8
Nousujen keston keskihajonta [s]	1,7	1,2
Keskinopeuksien keskiarvo [km/h]	58,6	66,8
Keskinopeuksien keskihajonta [km/h]	2,0	1,8
Alimpien nopeuksien keskiarvo [km/h]	37,9	45,7
Alimpien nopeuksien keskihajonta [km/h]	3,5	2,6
Nousujen alkunopeuksien keskiarvo [km/h]	81,8	89,1
Nousujen alkunopeuksien keskihajonta [km/h]	1,1	2,2

Taulukosta 8.3 nähdään, että noin 850 metriä pitkän Vaaranmäen nouseminen kesti HCT-yhdistelmällä keskimäärin kuusi sekuntia verrokkiyhdistelmää kauemmin. Ajoneuvoyhdistelmien välinen ero keskimääräisessä nousuajassa havaittiin myös tilastollisesti erittäin merkitseväksi (riskitaso $p < 0,001$). Nousun kesto vaihteli HCT-yhdistelmällä 48–56 sekunnin välillä ja verrokkiyhdistelmällä 44–49 sekunnin välillä. Mäen pituuden ja nousuun käytetyn ajan perusteella lasketun keskinopeuden keskiarvo oli HCT-yhdistelmän nousuissa 58,6 km/h ja verrokkiyhdistelmän nousuissa 66,8 km/h.

Keskinopeuden vaihteluväli oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 54,6–64,8 km/h ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 62,5–69,6 km/h. Keskinopeuksia vertailtaessa on syytä huomata, että verrokkiyhdistelmän nopeus nousun alussa oli keskiarvoltaan yli 7 km/h suurempi kuin HCT-yhdistelmän nopeus nousun alussa.

Nousujen aikana havaittujen alimpien nopeuksien keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 37,9 km/h ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 45,7 km/h. Riippumattomien otosten t-testillä todettiin, että alimpien havaittujen nopeuksien välinen ero yhdistelmien välillä oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$). Kun lasketaan yhdistelmien alkunopeuksien ja nousun aikana havaittujen alhaisimpien nopeuksien erotukset, voidaan todeta, että ajoneuvoyhdistelmien nopeudet laskivat nousujen aikana keskimäärin lähes yhtä paljon.

Kuvassa 8.3 on esitetty HCT- ja verrokkiyhdistelmän nopeuksia Parikkalan Vaaranmäessä. Kuvaajan lähtötietoina on käytetty nousuja, jotka olivat mahdollisimman lähellä taulukossa 8.3 kuvattuja keskimääräisiä arvoja. HCT-yhdistelmän nopeustiedot on poimittu 15.6.2016 suoritetusta noususta ja verrokkiyhdistelmän nopeustiedot 20.6.2016 suoritetusta noususta. Kummankin nousun aikana keli oli poutainen ja tie kuiva.



Kuva 8.3. HCT- ja verrokkiyhdistelmän nopeus kuljetun matkan suhteen Parikkalassa sijaitsevan Vaaranmäen nousussa. Kuvaaja on piirretty sellaisten nousujen perusteella, joita kuvaavat arvot olivat mahdollisimman lähellä taulukossa 8.3 esitettyjä keskimääräisiä arvoja.

Kuvasta 8.3 voidaan nähdä, että verrokkiyhdistelmän nopeus on mäen nousun aikana noin 5–15 km/h suurempi kuin HCT-yhdistelmän nopeus. HCT-yhdistelmän nopeus laskee alimmillaan hieman alle 40 kilometriin tunnissa, kun taas verrokkiyhdistelmän nopeus laskee alimmillaan hieman yli 45 kilometriin tunnissa. Kuva tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava, että myös verrokkiyhdistelmän alkunopeus on suurempi kuin HCT-yhdistelmän alkunopeus. Voidaankin todeta, että yhdistelmien nopeudet laskevat mäessä jotakuinkin yhtä paljon ja että yhdistelmien nopeuksien erotus säilyy koko mäen nousun ajan suhteellisen tasaisena.

Reitit yhdessä tarkasteltuna

Raskaiden ajoneuvoyhdistelmien nopeus on muuta ajoneuvoliikennettä matalampi erityisesti nousuissa, sillä suuren massansa vuoksi ne eivät pysty ylläpitämään nopeuttaan. Luvussa 6.4 vertailtiin HCT- ja verrokkiyhdistelmien nopeuksia ohitusten aikana ja luvussa 8.1 vertailtiin ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksia yhdensuuntaisten matkojen aikana. Näiden lisäksi haluttiin vertailla, miten HCT- ja verrokkiyhdistelmien nopeudet nousuissa eroavat toisistaan. Kultakin reitiltä valittiin yksi mäki, jossa nousunopeuksia erityisesti vertailtiin. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä nopeuksia tutkittiin Saariselän pohjoispuolella sijaitsevassa Magneettimäessä, Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä nopeuksia tutkittiin Äänekoskella sijaitsevassa Petomäessä ja Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä nopeuksia tutkittiin Parikkalassa sijaitsevassa mäessä, jota on tämän työn yhteydessä nimitetty Vaaranmäeksi. Kyseiset kohteet valikoituivat tutkittaviksi mäiksi sillä perusteella, että niissä ajoneuvoyhdistelmien nopeudet laskivat muita nousuja alemmas mäkien pituuden ja jyrkkyyden vuoksi. Magneettimäen pituus on noin 3600 metriä, Petomäen pituus noin 1600 metriä ja Vaaranmäen pituus noin 850 metriä.

Yhdistelmien väliset erot mäen nousuun kuluneessa ajassa olivat sitä suurempia, mitä pidemmästä mäestä oli kyse: keskimääräisten nousuaikojen ero oli Magneettimäessä 23,5 sekuntia, Petomäessä noin 13 sekuntia ja Vaaranmäessä 6,5 sekuntia. HCT-yhdistelmien nousunopeus oli siis kaikissa mäissä keskimäärin alhaisempi kuin verrokkiyhdistelmien nousunopeus. Myös alimmat nousujen aikana havaitut nopeudet olivat HCT-yhdistelmien tapauksessa keskimäärin alhaisempia kuin verrokkiyhdistelmien tapauksessa. Magneettimäessä HCT-yhdistelmän keskinopeus oli keskiarvoltaan 36,6 km/h ja alin nopeus keskimäärin 23,4 km/h, kun verrokkiyhdistelmän tapauksessa keskinopeus oli keskimäärin 39,2 km/h ja alimman havaitun nopeuden keskiarvo 25,6 km/h. Petomäessä HCT-yhdistelmän keskinopeuden keskiarvo oli 51,3 km/h ja alin nopeus keskimäärin 36,3 km/h, kun verrokkiyhdistelmän tapauksessa keskinopeus oli keskimäärin 58,1 km/h ja alin havaittu nopeus 46,5 km/h. Vaaranmäessä HCT-yhdistelmän keskinopeus oli keskiarvoltaan 58,6 km/h ja alin nopeus keskimäärin 37,9 km/h, kun verrokkiyhdistelmän tapauksessa keskinopeuden keskiarvo oli 66,8 km/h ja alimman nopeuden keskiarvo 45,7 km/h. Lukuja tarkasteltaessa on huomioitava, että Magneettimäessä ja Petomäessä HCT- ja verrokkiyhdistelmän alkunopeudet olivat keskimäärin lähes yhtä suuria, kun taas Vaaranmäessä verrokkiyhdistelmän alkunopeus oli keskimäärin yli 7 km/h suurempi kuin HCT-yhdistelmän alkunopeus. Vaaranmäessä HCT- ja verrokkiyhdistelmän alkunopeuden ja alhaisimman nopeuden erotukset olivatkin keskimäärin lähes yhtä suuria.

Pidemmästä nousuajasta johtuen Magneettimäessä ja Vaaranmäessä HCT-yhdistelmien aiheuttama viivytys muulle liikenteelle oli hieman verrokkiyhdistelmien aiheuttamaa viivytystä suurempi. Petomäki sen sijaan on koko pituudeltaan 2+1 -kaistainen, joten hitaammin ajavat raskaat ajoneuvot eivät aiheuta viivytyksiä muille ajoneuvoille. Tutkimuksen kohteeksi valitut nousut olivat pituudeltaan ja jyrkkyydeltään muita reiteillä olevia mäkiä vaativampia, joten muissa mäissä HCT- ja verrokkiyhdistelmien väliset erot ovat pienempiä.

Pääasiallisesti HCT- ja verrokkiyhdistelmillä ei havaittu merkittäviä vaikeuksia mäkien nousemisessa. Rovaniemen ja Ivalon väliseltä reitiltä kuitenkin tehtiin yksi havainto, jossa HCT-yhdistelmä pysähtyi Magneettimäkeen pidon loppumisen vuoksi. Yhdistelmä kuitenkin pääsi nousemaan mäen päälle jätettyään varsinaisen perävaunun mäen puolivälissä sijaitsevalle levikkeelle. Kyseisessä tapauksessa tie oli muuttunut lyhyessä ajassa erittäin liukkaaksi alijäähtyneenä sataneen veden vuoksi, minkä lisäksi

pidon loppumiseen vaikutti se, että yhdistelmä oli kuormattu tavallista takapainoisemmaksi. Tapaus osoittaa, että HCT-yhdistelmien liikennöinnissä on kiinnitettävä erityistä huomiota äkillisiin säänmuutoksiin erityisesti talvella ja tarvittaessa ajettava ilman taaempaa perävaunua tai odotettava tienhoidollisia toimenpiteitä tai keliolosuhteiden parantumista. Lisäksi kuorma on tehtävä tarkasti ja tasapainoisesti niin, että yhdistelmän vetävillä pyörillä on riittävästi painoa. Myös HCT-yhdistelmien reittejä suunniteltaessa ja poikkeuslupia myönnettäessä on syytä kiinnittää huomiota tavallista haastavampiin mäkiin.






Tässä luvussa esitetyt tulokset tarkasteltaessa on huomioitava, että havaintojen vähäisestä määrästä ja paikallisuudesta sekä käytetyn tutkimusmenetelmän varsin rajallisesta tarkkuudesta johtuen tulokset eivät anna täsmällistä kuvaa kyseisten ajoneuvoyhdistelmien mäennousukyvystä ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Tehdyn tarkastelun pohjalta saadaan kuitenkin yleiskuva ajoneuvoyhdistelmien välisten erojen suuruusluokasta. Tarkempien erojen selvittämiseksi on tehtävä ajoneuvodynamiikkaan keskittyviä tutkimuksia, joissa otetaan huomioon esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmien kokonaisuudessa, tienpinnan ja renkaiden välinen kitka, keliolosuhteet sekä kuljettajan toiminta.

8.3 Kiertoliittymissä ja muissa liittymissä ajaminen

Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi

Videomateriaalin perusteella tutkittiin myös ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymistä tavallisissa liittymissä ja kiertoliittymissä. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä kiertoliittymiä on yhteensä viisi: kaksi Sodankylän taajamassa ja kolme Ivalon taajamassa. Kiertoliittymät ovat yksikaistaisia ja neljähaaraisia lukuun ottamatta Sodankylän pohjoista kiertoliittymää, joka on kolmehaarainen. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän seurantamateriaalista analysoitiin useita kymmeniä ajokertoja kussakin reitin kiertoliittymässä. Puolet analysoiduista ajokerroista ajettiin tyhjillä ja puolet kuormatuilla yhdistelmillä, ja materiaalia saatiin sekä lumiselta että lumettomalta ajalta. HCT-ajoneuvon osalta suurin osa kiertoliittymäajoon liittyvästä materiaalista saatiin Sodankylän kahdesta kiertoliittymästä, mutta analysoitavaa materiaalia kertyi jonkin verran myös Ivalon kolmesta kiertoliittymästä. Verrokkiyhdistelmän osalta materiaalia kaikista viidestä kiertoliittymästä kertyi runsaasti. Perustiedot Rovaniemen ja Ivalon välisen reitin kiertoliittymistä on esitetty taulukossa 8.4. On huomattava, että taulukossa esitetyt tiedot kiertoliittymien koosta on saatu Liikenneviraston Tiemapin mittaustyökalun avulla, joten esitetyissä arvoissa on jonkin verran (arviolta +/- 2 m) epätarkkuutta. Kiertosaarekkeen halkaisijaa arvioitaessa on mitattu kiertosaarekkeen nurmetetun alueen halkaisija; kiertotilan kavennusta ja kiertosaarekkeen yliajettavaa osuutta ei ole otettu huomioon.

Taulukko 8.4. Perustiedot Rovaniemen ja Ivalon välisen reitin kiertoliittymistä. Ilmakuvat on saatu Liikenneviraston Tiemapista ja liittymien kokoa on arvioitu Tiemapin mittaustyökalulla. Kiertosaarekkeen halkaisija tarkoittaa kiertosaarekkeen nurmetetun alueen halkaisijaa.

Kiertoliittymän nimi, muoto ja ajosuunnat	Kiertoliittymän koko
<p>Ivalon pohjoinen kiertoliittymä</p> 	<p>Ulkohalkaisija noin 34 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 15 metriä.</p>
<p>Ivalon keskimäinen kiertoliittymä</p> 	<p>Ulkohalkaisija noin 34 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 15 metriä.</p>
<p>Ivalon eteläinen kiertoliittymä</p> 	<p>Ulkohalkaisija noin 32 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 12 metriä.</p>
<p>Sodankylän pohjoinen kiertoliittymä</p> 	<p>Ulkohalkaisija noin 40 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 25 metriä.</p>
<p>Sodankylän eteläinen kiertoliittymä</p> 	<p>Ulkohalkaisija noin 44 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 28 metriä.</p>

Videomateriaalin avulla voitiin tarkkailla, miten tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ajourat kiertoliittymissä erosivat normaalipituisten ajoneuvoyhdistelmän ajo-urista. On kuitenkin huomattava, että kiinteästi ajoneuvoihin asennetun kolmesta kamerasta koostuneen laitteiston avulla voitiin ajoneuvoyhdistelmätyyppien eroja kiertoliittymäajossa verrata vain karkealla tasolla. Ajoneuvoyhdistelmien vasenta sivulinjaa kuvanneiden sivukameroiden avulla voitiin tarkastella, kuinka pitkälle kiertoliittymien kiertosaarekkeen puolelle ajoneuvoyhdistelmien varsinaisten perävaunujen takimmaisten akselien pyörät mahdollisesti oikaisivat. Ajoneuvoyhdistelmien oikeanpuoleisten renkaiden liikerataa voitiin jossain määrin seurata, kun yhdistelmät ajoivat tyhjänä, mutta kuormattuna ajettaessa kiertoliittymän ulkokaarteeseen puoleista ajouraa ei nähty. Aineistosta tehtiin kuitenkin muutama havainto, jossa verrokkiyhdistelmä ajoi kiertoliittymässä kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän perässä, jolloin materiaalia HCT-ajoneuvoyhdistelmän liikkeistä kiertoliittymässä saatiin myös yhdistelmän takapuolelta kuvattuna.

Analysoidussa materiaalissa voitiin nähdä joitakin eroja ajoneuvoyhdistelmien liikeraidoissa kiertoliittymissä ajettaessa. Ajoneuvoyhdistelmien pituusero näkyi käytännössä siten, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän varsinaisen perävaunun vasemmanpuoleiset pyörät kulkivat lähempää kiertoliittymien keskisaarekettä kuin verrokkiyhdistelmän. Sodankylän kiertoliittymissä HCT-ajoneuvoyhdistelmän varsinaisen perävaunun takimmaisten akselien vasemmanpuoleiset pyörät nousivat osalla ajokerroista kiertosaarekkeen erikoiskuljetuksille tarkoitetun yliajettavan kiveysosuuden päälle ja osalla ajokerroista kulkivat hyvin läheltä sitä pysyen kuitenkin kiertotilan kivetyn kavennuksen alueella. Verrokkiyhdistelmän perävaunun vasemmanpuoleiset takapyörät puolestaan kulkivat asfaltoidun alueen ja kivetyn kiertotilan kavennuksen rajalla. Tämä on nähtävissä myös kuvassa 8.4, jossa on esitetty tyhjänä ajavien ajoneuvoyhdistelmien takapyörien kulku-urien ero Sodankylän pohjoisemmassa kiertoliittymässä. Hieman suuremman halkaisijan omaavassa Sodankylän eteläisessä kiertoliittymässä ajoneuvoyhdistelmien takapyörät kulkivat hieman kauempana kiertosaarekkeesta. On huomattava, että kuvassa 8.4 verrokkiyhdistelmän perävaununä on tavallinen, kiinteämitainen perävaunu. Jatkettavaa perävaunua lyhyessä muodossa käytettäessä verrokkiyhdistelmän takapyörät kulkivat hieman kauempana kiertosaarekkeesta, jolloin ajoneuvoyhdistelmien kulku-urien välinen ero oli hieman kuvassa esitettyä suurempi.



Kuva 8.4. Vasemmanpuoleisessa kuvassa näkyvän HCT-ajoneuvoyhdistelmän takapyörät nousivat Sodankylän pohjoisessa kiertoliittymässä kiertosaarekkeen yliajettavan osuuden päälle, kun taas verrokkiyhdistelmän takapyörät kulkivat asfaltoidun alueen ja kiertotilan kavennuksen rajalla.

Vastaavanlaisia eroja ajoneuvoyhdistelmien välillä oli havaittavissa myös Ivalon taajaman kiertoliittymissä. Kuvassa 8.5 on nähtävissä kuormattuna ajavien ajoneuvoyhdistelmien ajolinjojen ero Ivalon pohjoisimmassa kiertoliittymässä Petsamontieltä etelään valtatielle 4 kääntyessä. Kuvasta voidaan nähdä, että verrokkiyhdistelmän perävaunun takapyörät kulkevat asfaltoidun alueen ja kiertotilan kavennuksen rajalla, kun taas HCT-ajoneuvoyhdistelmän takimmaiseta pyörät kulkevat aivan kiertotilan sisäreunassa karkean kavennusosan päällä.



Kuva 8.5. Ivalon taajaman pohjoisimmassa kiertoliittymässä HCT-ajoneuvoyhdistelmän takimmaiseta pyörät kulkevat kiertotilan sisäreunassa kavennusosan päällä, kun taas verrokkiyhdistelmän takapyörät kulkevat asfaltoidun alueen ja kiertotilan kavennusosan rajalla. HCT-ajoneuvoyhdistelmä on kuvassa vasemmalla ja verrokkiyhdistelmä oikealla.

Kaiken kaikkiaan analysoidusta aineistosta oli nähtävissä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän oli hyödynnettävä tarkasti käytettävissä oleva tila mahtuakseen ajamaan kiertoliittymistä. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ei kuitenkaan havaittu oikaisseen kiertoliittymien kiertosaarekkeiden nurmetetulle alueelle tai osuneen liittymäalueella sijainneisiin liikennemerkkeihin eikä myöskään muunlaisia vahinkoja tai ongelmia kiertoliittymäajossa havaittu. Ajoneuvoyhdistelmien välisten erojen lisäksi videomateriaalista nähtiin, että lumisena aikana kiertoliittymäajo vaatii entistä enemmän tarkkuutta lumen vaatiman tilan, liukkauden sekä piiloon jääneiden tiemerkintöjen ja reunatukien vuoksi. Kuvasta 8.6 on nähtävissä, kuinka varsinainen perävaunu kallisteli sen takapyörien noustessa kiertoliittymien reunatukien ja kiertosaarekkeen ympärille kertyneen lumen päälle. Molempien ajoneuvoyhdistelmien kuvausmateriaalissa havaittiin myös tilanteita, joissa varsinaisen perävaunun takapää liukui äkkinäisesti sivuttaissuunnassa kiertosaarekkeen lumiselta ja kaltevalta reunalta kiertoliittymien kiertotilaan päin. Tällaisia havaintoja tehtiin vain tyhjänä ajavista ajoneuvoyhdistelmistä. Analysoidussa materiaalissa ei nähty vaaratilanteita perävaunun liukumiseen liittyen, mutta on mahdollista, että sivuttaissuunnassa liukuva perävaunu yllättäisi tulohaarasta kiertotilaan pyrkivän ajoneuvon kuljettajan. Ajoneuvojen törmäämisen mahdollisuuttakaan ei voida poissulkea, mutta sen todennäköisyys lienee verrattain pieni: kiertotilaan pyrkivän auton tulisi odottaa osittain kiertotilassa ja ajoneuvoyhdistelmän perävaunun sivuttaissuuntaisen liukuman tulisi olla poikkeuksellisen suuri, jotta törmäys tapahtuisi.



Kuva 8.6. Lumisena aikana tila kiertoliittymissä väheni entisestään, mikä näkyi erityisesti varsinaisen perävaunun kallistelemisena sekä sen takapään sivuttaissuuntaisena liukumisena kiertosaarekkeesta liittymän ulkoreunaan päin. Kuvat ovat HCT-ajoneuvoyhdistelmästä, mutta ilmiöt havaittiin myös verrokkiyhdistelmän kuvausmateriaalissa.

Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymistä seurattiin kiertoliittymien lisäksi myös muissa liittymissä. Myös niissä liikkumisessa oli havaittavissa ajoneuvoyhdistelmien välisiä eroja. Risteyksissä oikealle kääntyäessä HCT-yhdistelmän ajolinja kulki selvemmin vastaantulevan liikenteen kaistan kautta kuin verrokkiyhdistelmän. Luonnollisesti myös vasemmalle kääntyäessä HCT-ajoneuvoyhdistelmän pyyhkäisyala oli laajempi kuin verrokkiyhdistelmällä. Kuvassa 8.7 HCT-yhdistelmä on kääntymässä Korkalovaarantieltä Mäntyvaarantielle lähellä Rovaniemen puutavaraterminaalia. HCT-yhdistelmän takana ajaneen verrokkiyhdistelmän etukameran kuvasta nähdään, että vasemmalle kääntyvä HCT-ajoneuvoyhdistelmä varaa sekä suoraan ajaville että vasemmalle kääntyville tarkoitetut kaistat. Kuvasta 8.8 puolestaan nähdään, että noin 25 metriä pitkä verrokkiyhdistelmä mahtuu suorittamaan vastaavan käännöksen vasemmalle kääntyville tarkoitetulta kaistalta. Yhdistelmien ajolinjojen erosta johtuen kääntyvä HCT-ajoneuvoyhdistelmä aiheuttaa takana ajaville ajoneuvoille hieman suuremman viivytyksen kuin verrokkiyhdistelmä. Mikäli liikennemäärät risteyksessä olisivat suuria, tällä olisi merkittävämpiä vaikutuksia liittymäalueen liikenteen sujuvuuteen. Nykyisessä tilanteessa vaikutus nähtiin kuitenkin vähäiseksi. Kummankaan ajoneuvoyhdistelmän tuottamassa materiaalissa ei havaittu liittymäajoon liittyviä vaaratilanteita eikä tilanteita, joissa ajoneuvoyhdistelmät olisivat osuneet esimerkiksi liikenteenjakaajan kiveykseen tai liikennemerkeihin.



Kuva 8.7. Pitkän yhdistelmän tilantarve näkyy kuvan risteyksessä niin, että vasemmalle kääntyvä HCT-ajoneuvoyhdistelmä varaa kääntyessään sekä vasemmalle kääntyville että suoraan ajaville ajoneuvoille tarkoitetut **kaislat**.









Kuva 8.8. Verrokkiyhdistelmän sivukameran kuva osoittaa, että 25-metrinen yhdistelmä mahtuu suorittamaan saman käännöksen kääntyvälle liikenteelle tarkoitetulta kaistalta.

Kempele–Vantaa–Kempele

Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä kiertoliittymiä on yhteensä kuusi kappaletta. Pohjoisin kiertoliittymä on kaksikaistainen ja neljähaarainen Limingan kiertoliittymä. Vantaalle ajettaessa seuraavat kolme kiertoliittymää sijaitsevat Kärsämäen taajamassa. Kyseiset kiertoliittymät ovat neljähaaraisia ja yksikaistaisia. Seuraava kiertoliittymä sijaitsee Vaajakoskella ja on tyypiltään neljähaarainen, osittain kaksikaistainen turbokiertoliittymä. Reitin eteläisin kiertoliittymä sijaitsee noin 2,5 kilometriä Vaajakosken kiertoliittymästä lahden ja Vantaan suuntaan. Kanavuoren kiertoliittymäksi kutsuttu kiertoliittymä on kolmehaarainen ja osittain kaksikaistainen. Kustakin kiertoliittymästä saatiin materiaalia yhteensä kymmenistä ajokerroista sekä Vantaan että Kempeleen suuntaan ajetuilta matkoilta. Perustiedot Kempeleen ja Vantaan välisen reitin kiertoliittymistä on kuvattu taulukossa 8.5. Taulukossa esitetyt tiedot kiertoliittymien koosta on saatu Liikenneviraston Tiemapin mittaustyökalun avulla, joten esitetyissä arvoissa on jonkin verran (arviolta +/- 2 m) epätarkkuutta. Kiertosaarekkeen halkaisijaa arvioitaessa on mitattu kiertosaarekkeen nurmetetun alueen halkaisija; kiertotilan kavennusta ja kiertosaarekkeen yliajettavaa osuutta ei ole otettu huomioon.

Taulukko 8.5. Perustiedot Kempeleen ja Vantaan välisen reitin kiertoliittymistä. Ilmakuvat on saatu Liikenneviraston Tiemapista ja liittymien kokoa on arvioitu Tiemapin mittaustyökalun avulla. Kiertosaarekkeen halkaisija tarkoittaa kiertosaarekkeen nurmetetun alueen halkaisijaa. Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla.

Kiertoliittymän nimi, muoto ja ajosuunnat	Kiertoliittymän koko
Limingan kiertoliittymä 	Ulkohalkaisija noin 80 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 60 metriä.
Kärsämäen pohjoinen kiertoliittymä 	Ulkohalkaisija noin 45 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 30 metriä.
Kärsämäen keskimäinen kiertoliittymä 	Ulkohalkaisija noin 41 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 21 metriä.
Kärsämäen eteläinen kiertoliittymä 	Ulkohalkaisija noin 50 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 30 metriä.

Kiertoliittymän nimi, muoto ja ajosuunnat	Kiertoliittymän koko
Vaajakosken kiertoliittymä 	Ulkohalkaisija noin 50 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 24 metriä.
Kanavuoren kiertoliittymä 	Ulkohalkaisija noin 44–50 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 28 metriä.

Kameralaitteiston avulla voitiin tutkia erityisesti yhdistelmien vasemmanpuoleisten renkaiden kulku-urien eroja kierto liittymissä ajettaessa. Havaitut erot HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä olivat samankaltaisia kuin Ivalon ja Rovaniemen välisellä reitillä. 34,5 metriä pitkän HCT-yhdistelmän taaimmaisat pyörät kulkivat yksikaistaisissa kierto liittymissä lähempänä kiertosaarekettä kuin verrokkiyhdistelmän taaimmaisat pyörät. Kuvassa 8.9 kierto liittymän kautta suoraan ajavat ajoneuvoyhdistelmät ovat poistumassa Kanavuoren kierto liittymästä Kempeleen suuntaan. Tähän suuntaan ajettaessa kierto liittymä on yksikaistainen. Kuvasta nähdään, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän taaimmaisat pyörät kulkevat karkeutetun kiertotilan kavennuksen sisäreunassa, kun taas verrokkiyhdistelmän taaimmaisat pyörät kulkevat kiertotilan asfaltoidulla pinnalla. Kuvassa 8.10 on esitetty verrokkiyhdistelmän etukameran taltioima kuva samasta tilanteesta.



Kuva 8.9. HCT- ja verrokkiyhdistelmä poistumassa Kanavuoren kierto liittymästä Kempeleen suuntaan. Vasemmanpuoleisessa kuvassa näkyvän HCT-yhdistelmän taaimmaisat pyörät kulkevat kiertosaarekkeen vierestä, kun taas verrokkiyhdistelmän takapyörät kulkevat asfaltoidun alueen ja kiertotilan kavennuksen rajalla.



Kuva 8.10. Verrokkiyhdistelmän etukameran taltioima kuva HCT-yhdistelmästä poistumassa Kanavuoren kiertoliittymästä Kempeleen suuntaan.

Kärsämäen kolmessa yksikaistaisessa kiertoliittymässä ajoneuvoyhdistelmien ajolinjojen väliset erot olivat samankaltaisia kuin edellä esitettyssä Kanavuoren kiertoliittymässä. HCT-yhdistelmän suurempi tilantarve näkyi luonnollisesti myös kaksikaistaisissa kiertoliittymissä. Limingan kaksikaistaisessa kiertoliittymässä suoraan ajava HCT-yhdistelmä oikaisi hieman kiertoliittymän sisemmän kaistan puolelle, kun taas verrokkiyhdistelmä pysyi useimmiten kokonaan uloimmalla kaistalla. Kuvassa 8.11 ajoneuvoyhdistelmät ovat poistumassa Limingan kiertoliittymästä Jyväskylän ja Vantaan suuntaan. Kuvasta näkyy, että HCT-yhdistelmä ajaa osittain sisemmällä ajokaistalla, kun taas verrokkiyhdistelmä pysyy kokonaan uloimmalla kaistalla. HCT-yhdistelmän oikaisu näkyy myös verrokkiyhdistelmän etukameran taltioimassa kuvassa 8.12.



Kuva 8.11. HCT- ja verrokkiyhdistelmä poistumassa Limingan kiertoliittymästä Vantaan suuntaan. HCT-yhdistelmä oikaisee osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän sisemmälle kaistalle, kun taas verrokkiyhdistelmän pysyy ulomalla ajokaistalla.



Kuva 8.12. HCT-yhdistelmän oikaiseminen Limingan kiertoliittymän sisemmälle kaistalle näkyy myös tässä verrokkiyhdistelmän etukameran taltioimassa kuvassa.

Myös Vaajakosken kiertoliittymä Vantaalta Kempeleeseen ajettaessa sekä Kanavuoren kiertoliittymä Kempeleestä Vantaalle ajettaessa ovat kaksikaistaisia. Näissä kiertoliittymissä kaistaviivamerkintöjä ei kuitenkaan ole tai ne ovat hyvin kuluneet, joten ajoneuvoyhdistelmien ajolinjojen vertailu on vaikeampaa. HCT-yhdistelmän vaatima tila on kuitenkin luonnollisesti myös näissä liittymissä hieman verrokkiyhdistelmän vaatimaa tilaa suurempi.

Erityisiä ongelmia kiertoliittymäajoon liittyen ei havaittu. Yksikaistaisissa kiertoliittymissä HCT-yhdistelmät eivät oikaisseet kiertoliittymien kiertosaarekkeen nurmetetulle osalle asti eivätkä ajoneuvoyhdistelmät osuneet esimerkiksi liikennemerkkeihin. Kaksikaistaisissa kiertoliittymissä konflikteja muiden ajoneuvojen kanssa ei myöskään havaittu. Videomateriaalista oli kuitenkin nähtävissä, että HCT-yhdistelmän oli hyödynnettävä käytettävissä oleva tila tarkemmin. Karkean arvioinnin perusteella HCT-yhdistelmän **ajonopeus** kiertoliittymissä oli hieman verrokkiyhdistelmän nopeutta alhaisempi, mutta yksityiskohtaista analyysiä kiertoliittymäajossa käytetyistä nopeuksista ei kuitenkaan tehty.

Kiertoliittymien lisäksi ajoneuvoyhdistelmien ajolinjoja tutkittiin myös reitin muissa liittymissä. HCT-yhdistelmän suurempi tilantarve oli nähtävissä esimerkiksi niin, että oikealle kääntyttäessä yhdistelmän ajolinja kulki vastaantulevan liikenteen kaistan kautta verrokkiyhdistelmän ajolinjaa selvemmin. Joissakin risteyksissä kääntyminen suoritettiin myös osittain tai kokonaan suoraan ajaville tarkoitetulta kaistalta. Esimerkiksi kuvassa 8.13 HCT-yhdistelmä on kääntymässä Kyytitieltä Keslogi varastolle Vantaalla. Kuvasta näkyy, että yhdistelmä suorittaa käännöksen suoraan ajaville tarkoitetulta kaistalta, kun taas verrokkiyhdistelmä mahtui suorittamaan vastaavan käännöksen kääntyville tarkoitetulta kaistalta. Kuvassa 8.14 HCT-yhdistelmä on puolestaan Pyhäjärvellä kääntymässä Jyväskylantieltä Vaskikellontielle ja varaa kääntyessään kääntyville tarkoitetun ajokaistan lisäksi osan suoraan ajaville ajoneuvoille tarkoitettua ajokaistaa.



Kuva 8.13. HCT-yhdistelmä kääntyy Kyytitieltä Keslogin Vantaan varastolle suoraan ajavalle liikenteelle tarkoitetulta kaistalta.









Kuva 8.14. HCT-yhdistelmä kääntymässä Jyväskyläntieltä Vaskikellontielle Pyhjärvellä. Vasemmalle kääntyvä yhdistelmä varaa osittain myös suoraan ajaville tarkoitetun kaistan.

Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna

Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä on kiertoliittymiä vain yksi kappale. Punkaharjulla sijaitseva kiertoliittymä on neljähaarainen ja yksikaistainen. Tutkimusmateriaalin keräämisen aikana Savonlinnassa oli käytössä myös väliaikainen kiertoliittymä tietyömaan takia. Tilapäinen kiertoliittymä oli yksikaistainen ja kolmihaarainen. Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän reitistöllä on Punkaharjun liittymän lisäksi viisi muutakin kiertoliittymää, joista kaksi sijaitsee Savonlinnassa ja kolme Juvalla. Näiden kiertoliittymien läpi ajetaan, kun Savonlinnasta ajetaan Juvan kautta Mikkelin suuntaan tai päinvastoin. Juvan itäinen ja läntinen kiertoliittymä ovat yksikaistaisia ja nelihääräisiä, Juvan keskimäinen kiertoliittymä ja Savonlinnan läntinen kiertoliittymä ovat yksikaistaisia ja kolmehääräisiä, kun taas Savonlinnan itäinen kiertoliittymä on kaksikaistainen ja neljähaarainen. Sekä HCT- että verrokkiyhdistelmän tapauksessa pääosa analysoitavasta materiaalista kiertoliittymäajoon liittyen saatiin Punkaharjun kiertoliittymästä. Kiertoliittymien perustiedot on esitetty taulukossa 8.6. Taulukossa esitetyt tiedot kiertoliittymien koosta on saatu Liikenneviraston Tiemapin mittaustyökalun avulla, joten esitetyissä arvoissa on jonkin verran (arviolta +/- 2 m) epätarkkuutta. Kiertosaarekkeen halkaisijaa arvioitaessa on mitattu kiertosaarekkeen nurmetetun alueen halkaisija; kiertotilan kavennusta ja kiertosaarekkeen yliajettavaa osuutta ei ole otettu huomioon.

Taulukko 8.6. Perustiedot Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän reitistöllä sijaitsevista kuudesta kiertoliittymästä. Ilmakuvat on saatu Liikenneviraston Tiemapista ja liittymien kokoa on arvioitu Tiemapin mittaustyökalun avulla. Kiertosaarekkeen halkaisija tarkoittaa kiertosaarekkeen nurmetetun alueen halkaisijaa. Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla.

Kiertoliittymän nimi, muoto ja ajosuunnat	Kiertoliittymän koko
<p>Punkaharjun kiertoliittymä</p> 	<p>Ulkohalkaisija noin 40 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 25 metriä.</p>
<p>Savonlinnan itäinen kiertoliittymä</p> 	<p>Ulkohalkaisija noin 60 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 40–46 metriä.</p>
<p>Savonlinnan läntinen kiertoliittymä</p> 	<p>Ulkohalkaisija noin 50 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 35 metriä.</p>
Kiertoliittymän nimi, muoto ja ajosuunnat	Kiertoliittymän koko
<p>Juvan itäinen kiertoliittymä</p> 	<p>Ulkohalkaisija noin 36 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 19 metriä.</p>

<p>Juvan keskimmäinen kiertoliittymä</p> 	<p>Ulkohalkaisija noin 36 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 19 metriä.</p>
<p>Juvan läntinen kiertoliittymä</p> 	<p>Ulkohalkaisija noin 42 metriä, kiertosaarekkeen halkaisija noin 21 metriä.</p>

Kiertoliittymistä saatu videomateriaali osoitti, että liittymien kautta suoraan ajettaessa HCT-yhdistelmän pyyhkäisyala oli hieman verrokkiyhdistelmän pyyhkäisyalaa suurempi. Videomateriaalin perusteella ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän ajolinjojen välillä oli kuitenkin pienempi kuin kahdella muulla reitillä. Tämä voi johtua siitä, että Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmä on hieman kahta muuta tutkittua HCT-yhdistelmää lyhyempi. Toisaalta myös Kuljetus Szepaniakin verrokkiyhdistelmän rakenne eroaa muista tutkimuksessa käytetyistä verrokkiyhdistelmistä, sillä yhdistelmä on muodostettu vetoautosta, puoliperävaunusta ja keskiakseliperävaunusta, kun kaksi muuta verrokkiyhdistelmää oli muodostettu kuorma-autosta ja varsinaisesta perävaunusta.

Kuvassa 8.15 ajoneuvoyhdistelmät ovat poistumassa Punkaharjun kiertoliittymästä Lappeenrannan suuntaan. Kuvasta nähdään, että HCT-yhdistelmän takapyörät kulkevat asfaltoidun alueen ja kivetetyn kiertotilan kavennuksen rajalla, kun verrokkiyhdistelmän taaimaiset pyörät kulkevat hieman kauempana kivetetystä alueesta. Kuvassa 8.16 ajoneuvoyhdistelmät ovat puolestaan poistumassa Savonlinnan läntisestä kiertoliittymästä itäiseen poistumishaaraan. Yhdistelmien takapyörien kulku-urien ero on hyvin pieni, sillä kummankin yhdistelmän takapyörät kulkevat asfaltoidun alueen ja kivetetyn kiertotilan kavennuksen rajalla.



Kuva 8.15. HCT-yhdistelmä (vasemmalla) ja verrokkiihdistelmä (oikealla) poistumassa Punkaharjun kiertoliittymästä Lappeenrannan suuntaan. HCT-yhdistelmän takapyörät kulkevat hieman lähempänä kiertoliittymän kiertosaarekettä, mutta yhdistelmien välinen ero on verrattain pieni.



Kuva 8.16. HCT- ja verrokkiihdistelmä poistumassa Savonlinnan läntisestä kiertoliittymästä. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän taaimmaisets pyörät kulkevat asfaltoidun alueen ja kivetetyn kiertotilan kavennuksen rajalla.

Savonlinnan itäinen kiertoliittymä on kaksikaistainen. Kiertoliittymässä ei kuitenkaan ole kaistaviivamerkintöjä, joten kyseisessä kiertoliittymässä yhdistelmien ajolinjojen vertailu videomateriaalin perusteella on vaikeaa. Kuvan 8.17 perusteella näyttää siltä, että HCT-yhdistelmän takapyörät kulkevat hieman lähempänä kiertoliittymän kiertosaarekettä, mutta kuvan perusteella ei voida sanoa, oikaiseeko yhdistelmä sisemmän kaistan puolelle.



*Kuva 8.17. Ajoneuvoyhdistelmät poistumassa Savonlinnan itäisestä kiertoliittymästä idän suuntaan. HCT-yhdistelmän takapyörät näyttävät kulkevan hie-
man lähempänä kiertoliittymän kiertosaarekettä, mutta kaistaviivojen
puuttuessa ajolinjojen eroa on vaikea määrittää.*

HCT- ja verrokkiyhdistelmän ajolinjoja vertailtiin kiertoliittymien lisäksi myös muissa liittymissä. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä liittymiä on kuitenkin vain vähän, eikä niiden osalta havaittu suuria ajoneuvoyhdistelmien välisiä eroja ajolinjoissa. Myöskään minkäänlaisia ongelmia tai vahinkoja liittymä- ja kiertoliittymäajossa ei havaittu kummankaan yhdistelmän materiaalissa.

Eri reittien liittymissä ajaminen yhdessä tarkasteltuna

Kerätyn tutkimusmateriaalin avulla vertailtiin HCT- ja verrokkiyhdistelmien ajamista liittymissä ja kiertoliittymissä. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä kiertoliittymiä on viisi kappaletta, Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä kuusi kappaletta ja Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä yksi kappale. Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmältä ja Kuljetus Szepaniakin verrokkiyhdistelmältä saatiin kuitenkin hieman analysoitavaa materiaalia myös kahdesta Savonlinnassa ja kolmesta Juvalla sijaitsevasta kiertoliittymästä.

Videomateriaalin avulla vertailtiin HCT- ja verrokkiyhdistelmien ajourien välisiä eroja. Kiinteästi ajoneuvoihin asennettujen kolmen kameran tuottaman materiaalin avulla yhdistelmien välisiä eroja liittymäajossa voitiin kuitenkin verrata vain karkealla tasolla. Ajoneuvoyhdistelmien vasenta sivulinjaa kuvanneiden sivukameroiden avulla voitiin tarkastella, kuinka pitkälle kiertoliittymien kiertosaarekkeen puolelle ajoneuvoyhdistelmien taaimmaiset pyörät oikaisivat. Puutavara-ajoneuvojen tapauksessa myös yhdistelmien oikeanpuoleisten renkaiden liikerataa voitiin jossain määrin seurata, kun yhdistelmät ajoivat tyhjänä, mutta muissa tapauksissa kiertoliittymän ulkokaarteiden puoleista ajouraa ei nähty. Rovaniemen ja Ivalon sekä Kempeleen ja Vantaan välisiltä reiteiltä saatiin myös hieman materiaalia, jossa verrokkiyhdistelmät ajoivat HCT-yhdistelmien perässä. Näiltä matkoilta tutkimusmateriaalia HCT-yhdistelmien liikkeistä saatiin myös verrokkiyhdistelmien etukameroiden avulla.

Tavallisia ajoneuvoyhdistelmiä pidempien HCT-yhdistelmien tilantarve näkyi kiertoliittymissä niin, että yhdistelmien taaimmaiset pyörät kulkivat lähempänä kiertoliittymien kiertosaarekkeita kuin verrokkiyhdistelmien taaimmaiset pyörät. Materiaalista oli myös nähtävissä, että HCT-yhdistelmät joutuivat hyödyntämään kiertoliittymissä käytettävissä olevan tilan tarkemmin hyväkseen. Vain Limingan kaksikaistaisessa kiertoliittymässä ajokaistat on erotettu kaistaviivoin, ja kyseisessä liittymässä HCT-yhdistelmä oikaisi hieman sisemmän ajokaistan puolelle, kun taas verrokkiyhdistelmä

pysyi ulommalla ajokaistalla. Kaistaviivojen puuttuessa muissa kaksikaistaisissa kiertoliittymissä ei voitu videomateriaalin perusteella arvioida, pysyivätkö yhdistelmien ajourat ulommalla ajokaistalla. Vaikka HCT-yhdistelmien pyyhkäisyalat havaittiin verrokkiyhdistelmien pyyhkäisyaloja suuremmiksi, ei kiertoliittymäajossa havaittu erityisiä ongelmia tai vahinkoja. Yhdistelmien ei esimerkiksi havaittu osuneen liikennemerkkeihin tai liikenteenjakajien reunakiviin, eivätkä yhdistelmien takapyörät oikaisseet kiertosaarekkeiden nurmetetulle alueelle. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä tehtiin kuitenkin talvikeleillä muutamia havaintoja tyhjänä ajavista yhdistelmistä, joiden varsinainen perävaunun takapäät liukuivat keskisaarekkeen kaltevalta, lumen ja jään liukastamalta kiveykseltä kiertotilan ulkoreunaa kohti. Kuormattuna ajettaessa vastavaa ilmiötä ei havaittu kummankaan yhdistelmän tapauksessa.

HCT- ja verrokkiyhdistelmien ajolinjoja vertailtiin kiertoliittymien lisäksi myös reittien muissa liittymissä. HCT-yhdistelmien verrokkiyhdistelmiä suurempi tilantarve oli nähtävissä myös niissä. Oikealle kääntyessä HCT-yhdistelmien ajolinjat kulkivat selvemmin vastaantulevan liikenteen kaistan kautta. Joissakin risteyksissä kääntymiseen myös käytettiin suoraan ajaville tarkoitettua kaistaa kääntyville tarkoitettun kaistan lisäksi tai sen sijaan. Näissä tapauksissa HCT-yhdistelmät aiheuttavat takana tulevalle liikenteelle hieman normaalia ajoneuvoyhdistelmää suurempia viivytyksiä, mutta kyseisissä risteyksissä liikennemäärät arvioitiin alhaisiksi ja vaikutukset liikenteen sujuvuuteen siten pieniksi. Liittymäajossa ei myöskään nähty erityisiä ongelmia, vaaratilanteita tai konflikteja muun liikenteen kanssa millään tutkituista reiteistä. Mikäli HCT-yhdistelmiä otetaan pysyvästi käyttöön joillakin yhteysväleillä, lienee kuitenkin tarpeellista tutkia liittymien ja kiertoliittymien mitoitus ja tarvittaessa muuttaa niitä niin, että esimerkiksi kaksikaistaisissa kiertoliittymissä HCT-yhdistelmät pysyvät omalla kaistallaan ja muissa liittymissä kääntymisen voidaan tehdä normaalien ryhmitymissääntöjen mukaisesti. Näin HCT-yhdistelmillä liikennöinti olisi yhtä sujuvaa kuin muilla ajoneuvoyhdistelmillä eivätkä niiden aiheuttamat viivytykset muulle liikenteelle olisi tavanomaisten ajoneuvoyhdistelmien aiheuttamia viivytyksiä suurempia.

8.4 Muita havaintoja

Kaikki reitit

Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymisestä pyrittiin tekemään havaintoja myös liittymien välisillä linjaosuuksilla. Ajoneuvoyhdistelmien sivuttaissuuntaista heilumista voitiin tarkkailla lähinnä sivukameroiden tuottaman materiaalin avulla. Heilumisesta pyrittiin tekemään havaintoja suorilla ja mutkaisilla tieosuuksilla ajettaessa sekä esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmien suorittamien aktiivisten ohitusten aikana. Havaituissa ajoneuvoyhdistelmien suorittamissa ohituksissa ohitettavana oli yleensä muuta liikennettä selvästi hitaampi ajoneuvo, kuten traktori, mönkijä tai muu työkone. Ohituksissa yhdistelmät käyttäytyivät varsin vakaasti, eikä suuria eroja HCT- ja verrokkiyhdistelmien välillä nähty. Ainoa silminnähtävä heilumiseen liittyvä ero havaittiin Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän ja Kuljetus Szepaniakin verrokkiyhdistelmän välillä. Puoliperävaunun vetoautosta, puoliperävaunusta ja keskiakseliperävaunusta muodostetun verrokkiyhdistelmän keskiakseliperävaunun heiluminen oli paikoitellen suhteellisen voimakasta. Heilumisen yhteydessä keskiakseliperävaunun havaittiin myös kallistelevan pystysuuntaisen akselin suhteen melko voimakkaasti. Verrokkiyhdistelmän heiluminen oli siis silmämääräisesti arvioiden HCT-yhdistelmän heilumista voimakkaampaa. Myös verrokkiyhdistelmän kuljettajat kertoivat yhdistelmän olevan käytökseltään suhteellisen epävakaa. Heilumiseen liittyen on kuitenkin todettava, ettei visuaaliseen tarkaste-

luun perustuva menetelmä ole tarpeeksi tarkka tapa tutkia erilaisten ajoneuvoyhdistelmien stabiliteettia, eikä sen tutkiminen toisaalta ollut tämän tutkimuksen päätavoitteena.

Muita mielenkiintoisia tilanteita, joissa ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymistä voitiin tarkkailla, olivat äkkinäiset jarrutukset. Äkkijarrutuksia havaittiin Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä, jolla porot liikkuvat arvaamattomasti paikoitellen tiealueella. Yhtään porokolaria ei analysoidussa aineistossa kuitenkaan havaittu, vaan ajoneuvoyhdistelmät pystyivät välttämään ne jarrutuksen ja väistöin. Kaikissa havaituissa jarrutuksissa yhdistelmät käyttäytyivät vakaasti, eikä esimerkiksi perävaunujen havaittu pyrkivän huomattavaan sivuttaisliikkeeseen. Muilla reiteillä ajoneuvoyhdistelmien ei havaittu joutuneen tekemään äkkinäisiä jarrutuksia. Yleisesti ottaen ajoneuvoyhdistelmien dynaamista käyttäytymistä tutkittiin työssä hyvin karkealla tasolla. Tarkempien johtopäätösten tekemiseksi vaadittaisiin esimerkiksi kiihdytysanturein kerättyä tietoa ajoneuvoyhdistelmien hidastuvuuksista ja sivuttaisliikkeestä. HCT-ajoneuvoyhdistelmien stabiliteettiin liittyvää tutkimusta tehdään tällä hetkellä Oulun yliopistossa.

9 Tulosten analysointi ja luotettavuuden arviointi

9.1 Ohitukset

Analysoidussa materiaalissa kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneita ohituksia havaittiin yhteensä 1200 kappaletta. Näistä HCT-yhdistelmien ohituksia oli 686 kappaletta ja verrokkiyhdistelmien ohituksia 514 kappaletta. Edellä mainitut luvut sisältävät myös Kouvolan ja Lappeenrannan välisellä leveäkaistaisella tieosuuksilla tapahtuneet ohitukset, joita havaittiin yhteensä 58 kappaletta. Kullakin reitillä HCT-yhdistelmän ohituksia havaittiin hieman verrokkiyhdistelmän ohituksia enemmän. Kun poikkileikkaukseltaan tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneet ohitukset jaettiin ohitustyypeittäin kiihdytysohituksiin, lentäviin ohituksiin ja jono-ohituksiin, olivat ohitustyyppien jakaumat kaikilla reiteillä samantyyppisiä. Kaikilla reiteillä valtaosa ohituksista (noin 61–71 %) oli kiihdytysohituksia. Loput ohituksista jakaantuivat lentäviin ohituksiin ja jono-ohituksiin siten, että Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä lentäviä ohituksia oli suhteellisesti enemmän ja jono-ohituksia suhteellisesti vähemmän kuin kahdella muulla reitillä. Tämä selittyy luonnollisesti sillä, että Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä liikennemäärät olivat pienempiä kuin kahdella muulla reitillä.

Kullakin reitillä ohitustyyppien jakaumassa oli nähtävissä pieniä eroja HCT- ja verrokkiyhdistelmien välillä. Rovaniemen ja Ivalon sekä Vantaan ja Kempeleen välisillä reiteillä HCT-yhdistelmien ohituksista jono-ohituksia oli suhteellisesti enemmän kuin verrokkiyhdistelmien ohituksista. Vastaavasti lentäviä ohituksia oli kyseisillä reiteillä HCT-yhdistelmien ohituksista pienempi osa kuin verrokkiyhdistelmien ohituksista. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä lentäviä ohituksia oli kummankin yhdistelmän ohituksista noin 15 %, kun taas jono-ohituksia oli verrokkiyhdistelmän ohituksista hieman suurempi osuus kuin HCT-yhdistelmän ohituksista. Tulokset kolmelta eri reitiltä eivät siis ole täysin yhteneviä keskenään, joten yleistettäviä johtopäätöksiä ei voida vetää. Todennäköisesti ohitustyyppien jakauma riippuu pääasiassa liikennemäärästä, ohitettavan yhdistelmän nopeudesta sekä ohitettavan yhdistelmän ja sen takana mahdollisesti jonossa olevien ajoneuvojen kuljettajien toiminnasta. On kuitenkin mahdollista, että pitkä kuljetus -kyltillä varustetun yhdistelmän ohittamista harkitaan hieman tavallisen yhdistelmän ohittamista enemmän, joten lentävät ohitukset eivät ole yhtä yleisiä. Lisäksi verrokkiyhdistelmien ohituksissa kriittinen aikaväli oli pienempi kuin HCT-yhdistelmien ohituksissa, jolloin todennäköisyys riittävän alkuajakavälin löytymiselle heti ajoneuvoyhdistelmän saavuttamisen jälkeen oli suurempi kuin HCT-yhdistelmän ohituksissa. Toisaalta HCT-yhdistelmien jono-ohitusten suurempi suhteellinen osuus voi johtua siitä, että osa kuljettajista harkitsee HCT-yhdistelmän ohittamista pitkään, jolloin taaempänä jonossa ajavat kuljettajat saattavat ohittaa useampia ajoneuvoja saman ohituksen aikana. Jono-ohitusten määrään kuitenkin vaikuttaa todennäköisesti ensisijaisesti tien liikennemäärä.

Ohitusten kestoon liittyen havaittiin, että HCT-yhdistelmien ohitukset kestivät keskimäärin 5,7–5,9 sekuntia, kun verrokkiyhdistelmien ohitukset kestivät keskimäärin 4,6–5,2 sekuntia. HCT- ja verrokkiyhdistelmien ohitusten kestojen keskiarvot erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi kaikilla tutkituilla reiteillä. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohitusten keskimääräisten kestojen ero oli merkittävästi pienempi Rovaniemelle ajettaessa kuin Ivaloon ajettaessa. Tätä voidaan selittää sillä, että Rovaniemelle ajaneiden yhdistelmien ohitusten aikaiset nopeudet erosivat toisistaan vähemmän, sekä sillä, että yhdistelmien pituusero oli Rovaniemelle ajettaessa noin kolme metriä pienempi kuin Ivaloon ajettaessa. Kaikilla reiteillä havaittiin lisäksi, että ohitusten kestojen keskihajonta oli HCT-yhdistelmien ohituksissa suurempi kuin verrokkiyhdistelmien ohituksissa. Ohitusten keskimääräiset kestot sekä ohitusten keston keskihajonnan arvot laskivat hieman, kun tarkasteltiin pelkästään ohituksia, joissa ohittajana oli henkilöauto.

Ohitusten kestot sekä HCT- ja verrokkiyhdistelmien väliset erot ohitusten kestoissa olivat pienempiä kuin teoreettisesti laskien oletettiin. Mikäli nimittäin oletetaan tilanne, jossa nopeusrajoituksen mukaista 100 km/h nopeutta ajava 4,5 metriä pitkä henkilöauto ohittaa 80 km/h nopeudella ajavan 25,25 metriä pitkän ajoneuvoyhdistelmän, saadaan ohituksen teoreettiseksi kestoksi luvussa 5.4 esitetyllä laskentatavalla noin 7,2 sekuntia. Mikäli ohitettavana olisi 33 metriä pitkä ajoneuvoyhdistelmä, kestäisi ohitus noin 8,6 sekuntia. Ero ohitusten kestossa olisi siis tässä teoreettisessa tilanteessa noin 1,4 sekuntia. Mitattujen arvojen sekä teoreettisiin laskelmiin perustuvien arvojen erot selittyvät ohituksissa käytetyillä nopeuksilla. Ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien nopeudet ohitusten aikana olivat Rovaniemen ja Ivalon välillä liikennöivien ajoneuvoyhdistelmien sekä Savonlinnan ja Lappeenrannan välillä liikennöivän HCT-yhdistelmän tapauksessa keskimäärin alle 80 km/h. Lisäksi suurin osa ohittaneista ajoneuvoista ajoi ohituksen aikana yli 100 km/h keskinopeudella. Tällöin ohittajan ja ohitettavan välinen nopeusero oli teoreettisessa tilanteessa esitettyä suurempi, jolloin myös ohitusten kesto lyheni.

Tutkimuslaitteiston ajanoton tarkkuus on verrattain rajallinen, sillä laitteisto ilmoittaa ajan yhden sekunnin tarkkuudella. Ohitusten kesto pystyttiin kuitenkin määrittämään huomattavasti tarkemmin, kun tiedettiin, että videokameroiden kuvanottotaajuus oli 30 kuvaa sekunnissa. Tällöin kahden peräkkäisen kuvan välisen ajan pituus oli $1/30$ eli noin 0,033 sekuntia. Ohitusten kestoja määritettäessä selvitettiin, kuinka monennen yksittäisen kuvan kohdalla ohitus katsottiin alkaneeksi ja päättyneeksi, jolloin ohitusten kesto pystyttiin määrittämään huomattavasti laitteiston alkuperäistä ajanoton tarkkuutta suuremmalla tarkkuudella. Niinpä 0,1 sekunnin tarkkuudella ilmoitettuja tuloksia voidaan pitää luotettavina.

Ohitettavan ja ohittajan ohitusten aikana ajamien matkojen pituudet riippuvat ohituksen kestoista ja ajoneuvojen käyttämisestä nopeuksista. Erot ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikana ajamisissa matkoissa olivat siis samansuuntaisia kuin erot ohitusten kestoissa: HCT-yhdistelmien ohitusten aikana kulkemat matkat olivat keskimäärin 118–138 metriä, kun taas verrokkiyhdistelmien kulkemat matkat olivat keskimäärin 104–123 metriä. HCT-yhdistelmät kulkivat ohitusten aikana keskimäärin 14–18 metriä pidempiä matkoja kuin verrokkiyhdistelmät. HCT-yhdistelmien ohittajat kulkivat ohitusten aikana keskimäärin 166–188 metriä, kun verrokkiyhdistelmien ohittajien kulkema matka oli keskimäärin 143–164 metriä. HCT-yhdistelmiä ohittaneet ajoneuvot kulkivat ohitusten aikana keskimäärin 23–24 metriä pidempiä matkoja kuin verrokkiyhdistelmiä ohittaneet ajoneuvot. HCT- ja verrokkiyhdistelmien väliset erot ohitusmatkoissa todettiin kaikilla reiteillä tilastollisesti merkitseviksi.

Ohitusmatkan laskemisessa lähtötietoina käytettiin ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia, ohitusten kestoa sekä ajoneuvojen pituuksia kuten aliluvussa 5.4 esitettiin. Ohitusmatkan pituutta laskettaessa selvitettiin, kuinka monta sekuntia ajoneuvoyhdistelmä ajoi kullakin nopeudella, ja näin voitiin laskea ajoneuvoyhdistelmän ohituksen aikana kul-kema matka. Ohitusmatkaan liittyviin tuloksiin epätarkkuutta aiheuttaa tutkimuslait-teiston ilmoittaman nopeuden rajallinen tarkkuus. Laitteisto mittaa ajoneuvoyhdistel-män nopeutta GPS-paikantimen avulla ja ilmoittaa sen yhden tuntikilometrin tarkkuu-della. Nopeus päivittyy kahden–kolmen sekunnin välein, joten laitteiston ilmoittama nopeus ei aina kuvaa kyseisen hetken nopeutta täysin reaaliaikaisesti. GPS-paikantimen ilmoittamaan nopeuteen saattaa lisäksi aiheutua virhettä riippuen esimerkiksi katvealueista eli siitä, moneenko satelliittiin GPS-paikantimella on kulloinkin yhteys. Suurimmillaan mahdollisten virheiden arvioitiin olevan joidenkin prosenttien luokkaa. Yksittäisiä virheitä kuitenkin tasaa se, että laitteisto ei ilmoita jokaista laskemaansa hetkellistä nopeutta, vaan käyttäjälle ilmoitettava nopeus lasketaan peräkkäisten no-peusarvojen liukuvana keskiarvona ja käyttäjälle ilmoitettava nopeus päivittyy kah-den–kolmen sekunnin välein. Lukuja tulkittaessa onkin oletettu, että virhemarginaali sisältyy laitteiston yhden tuntikilometrin ilmoitustarkkuuteen. Lisäksi on huomioitava, ettei tutkimuslaitteiston ilmoittama nopeus ole systemaattisesti suurempi tai pie-nempi kuin ajoneuvon todellinen nopeus, joten virheet eivät merkittävästi vaikuta esi-merkiksi laskettuihin ohitusmatkojen keskiarvoihin. Lisäksi on huomattava, että ajo-neuvoyhdistelmät ajoivat ohitusten aikana verrattain tasaisella nopeudella, joten no-peuteen liittyvän epätarkkuuden ei todettu merkittävästi heikentävän ohitusmatkan pi-tuuteen tai ohitusnopeuksiin liittyvien tulosten luotettavuutta.

Ohitukseen liittyen tutkittiin myös ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien sekä ohittavien ajoneuvojen nopeuksia ohitusten aikana. Kaikilla reiteillä HCT-yhdistelmien nopeudet ohitusten aikana olivat keskimäärin alhaisempia kuin verrokkiyhdistelmien nopeudet. Kempeleen ja Vantaan välistä reittiä lukuun ottamatta erot HCT- ja verrokkiyhdistel-män välillä olivat myös tilastollisesti merkitseviä. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä HCT-yhdistelmän keskinopeus ohitusten aikana oli noin 75 km/h ja verrokkiyhdistel-män vastaava nopeus noin 78 km/h. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä HCT-yhdis-telmän keskinopeus ohitusten aikana oli noin 82 km/h ja verrokkiyhdistelmän vastaava nopeus noin 83 km/h. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä HCT-yhdistel-män keskinopeus ohitusten aikana oli noin 78 km/h ja verrokkiyhdistelmän vastaava nopeus noin 85 km/h. HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaiset keskinopeudet olivat keskimäärin 1–6 km/h verrokkiyhdistelmien ohitusten aikaisia keskinopeuksia matalampia. HCT-ajoneuvoyhdistelmien verrokkiyhdistelmiä alhaisempi nopeus ka-vensi HCT- ja verrokkiyhdistelmien eroa ohitusten kestossa ja helpotti HCT-yhdistel-mien ohittamista. Toisaalta alhaisempi nopeus myös lisäsi HCT-yhdistelmien saavu-tettavuutta, jolloin teoreettinen ohitustarve kasvoi. HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohituk-sia havaittiinkin enemmän kuin verrokkiyhdistelmien ohituksia.

Ohitusten keston ja ohitusmatkan avulla voitiin laskea ohittavien ajoneuvojen ohitus-ten aikaisia keskinopeuksia. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä sekä HCT- että ver-rokkiyhdistelmän ohittajien keskinopeus ohitusten aikana oli noin 109 km/h. Vantaan ja Kempeleen välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohittajien keskinopeus ohitusten ai-kana oli noin 115 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohittajien vastaava nopeus noin 113 km/h. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohittajien keskinopeus ohitusten aikana oli noin 109 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohittajien vas-taava nopeus noin 118 km/h. Suurimmat erot ohittajien nopeuksissa havaittiin Savon-linnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä ja pienimmät erot puolestaan Rovaniemen ja

Ivalon välisellä reitillä. Ohittajien nopeudet erosivat toisistaan tilastollisesti merkittävästi ainoastaan Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä. Tällä reitillä verrokkiyhdistelmän ohittajien nopeudet olivat HCT-yhdistelmän ohittajien nopeuksia merkittävästi suurempia todennäköisesti sen vuoksi, että myös verrokkiyhdistelmän nopeus ohitusten aikana oli merkittävästi korkeampi kuin HCT-yhdistelmän nopeus ohitusten aikana. Korrelaatiotarkasteluissa havaittiinkin, että ohittajien nopeudet korreloivat tilastollisesti merkittävästi ohitettavien yhdistelmien nopeuksien kanssa. Lisäksi Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohituksista suurempi osa tapahtui talvikaudella, jolloin ohitusnopeudet olivat hieman alhaisempia kuin kesäkaudella. Yleisesti ottaen korrelaatiotarkastelut osoittivat, ettei ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän tyypillä ollut tilastollisesti merkittävää vaikutusta ohittajien nopeuksiin.

Ohituksen kestoon vaikuttaa merkittävästi se, kuinka suuri on ohitettavan ja ohittavan ajoneuvon nopeuksien ero. Tämä niin sanottu suhteellinen nopeus oli kaikilla reiteillä samaa suuruusluokkaa. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä suhteellisen nopeuden keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 34 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 32 km/h. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä suhteellisen nopeuden keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 33 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 30 km/h. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä suhteellisen nopeuden keskiarvo oli HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 31 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 33 km/h. Kaikilla reiteillä sekä HCT- että verrokkiyhdistelmä ohitettiin hieman yli 30 km/h nopeuserolla, eikä suhteellisen nopeuden ei havaittu merkittävästi muuttuvan, vaikka ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nopeus muuttuisi.

Ohitusnopeuksiin liittyen tutkittiin edellä mainittujen tekijöiden lisäksi sitä, kuinka suuri oli ohittajan ohituksen aikaisen nopeuden ja tieosalla vallitsevan nopeusrajoituksen välinen erotus. Tuloksista havaittiin, että ylinopeudet ohitusten aikana olivat hyvin yleisiä kaikilla reiteillä; reitistä ja ajoneuvoyhdistelmästä riippuen 2–22 % ohituksista oli sellaisia, joissa ohittajan nopeus oli korkeintaan suurimman sallitun nopeuden suuruinen. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä ohittajien ylinopeus oli kummankin yhdistelmän ohituksissa keskimäärin noin 11 km/h. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä ohittajien ylinopeus oli HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin 17 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa keskimäärin 15 km/h. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä ohittajien ylinopeus oli HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin 17 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa keskimäärin 21 km/h. HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohittajien väliset erot nopeusrajoitusten keskimääräisissä ylityksissä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä millään tutkituista reiteistä.

Ajoneuvoyhdistelmien ohittajien nopeudet olivat oletettua suuruusluokkaa: myös muissa tutkimuksissa on havaittu, että ylinopeudet ohitusten aikana ovat yleisiä. Esimerkiksi Andersson et alii (2011) tutkimuksessa ETT-ajoneuvoyhdistelmää ohittaneiden ajoneuvojen ohitusnopeuksien keskiarvo oli 117 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohittajien ohitusnopeuksien keskiarvo 115 km/h, kun nopeusrajoitus kaksikaistaisella tieosuudella oli 90 km/h. Ohitusten aikaiset keskinopeudet laskettiin ohitusten keston ja ohitusmatkan pituuden avulla, joten edellä mainitut ohitusten kestoon ja ohitusmatkan pituuteen liittyvät epätarkkuustekijät aiheuttavat siten epätarkkuutta myös ohitusten aikaisiin keskinopeuksiin liittyviin tuloksiin. Koska systemaattisia virhelähteitä ei kuitenkaan havaittu, voidaan olettaa, että menetelmästä ja laitteiston rajallisesta tarkkuudesta johtuvat virheet eivät merkittävästi vaikuta esimerkiksi ilmoitettuihin keskiarvoihin.

Ohituksiin liittyen tutkittiin myös hyväksytyjen ja pisimpien hylättyjen ohitusaikavälien suuruuksia. Näiden avulla voitiin laskea kriittisen aikavälin suuruus eli se, kuinka suuri aikavälin vastaantulevassa liikennevirrassa tulee vähintään olla, jotta positiivinen ohituspäätös tehdään. Hyväksytyn aikavälin keskiarvo HCT-yhdistelmien ohituksissa vaihteli reiteittäin välillä 33,6–37,9 sekuntia, kun vastaava vaihteluväli verrokkiyhdistelmien ohituksissa oli 29,0–40,9 sekuntia. Hyväksytyjen aikavälien keskiarvot olivat HCT-yhdistelmien ohituksissa pääsääntöisesti pidempiä kuin verrokkiyhdistelmien ohituksissa, mutta ainoastaan Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä oli tilastollisesti merkitsevä. Pisimpien hylättyjen aikavälien keskiarvo HCT-yhdistelmien ohituksissa vaihteli puolestaan reiteittäin välillä 14,4–18,0 sekuntia, kun vastaava vaihteluväli verrokkiyhdistelmien ohituksissa oli 10,7–17,8 sekuntia. Pisimmät hylätyt aikavälit olivat HCT-yhdistelmien ohituksissa keskimäärin pidempiä kuin verrokkiyhdistelmien ohituksissa, mutta erot eivät olleet millään reitillä tilastollisesti merkitseviä.

Koska sekä hyväksytyjen aikavälien että pisimpien hylättyjen aikavälien arvot olivat HCT-yhdistelmien ohituksissa keskimäärin pidempiä kuin verrokkiyhdistelmien ohituksissa, olivat myös kriittisten aikavälien arvot suurempia HCT-yhdistelmien ohituksissa. HCT-yhdistelmien ohittamiseksi vaaditun kriittisen aikavälin arvo vaihteli reiteittäin välillä 25,0–27,6 sekuntia, kun vastaava vaihteluväli verrokkiyhdistelmien tapauksessa oli 21,8–26,1 sekuntia. HCT- ja verrokkiyhdistelmien välinen ero kriittisen aikavälin suuruudessa oli suurimmillaan reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna ja pienimmillään reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi. Lukujen perusteella vaikuttaa siltä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohittajat varautuivat normaalia pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseen rationaalisella tavalla: kriittiset aikavälit olivat hie- man suurempia kuin verrokkiyhdistelmien ohituksissa. HCT- ja verrokkiyhdistelmien väliset kriittisten aikavälien erot eivät kuitenkaan olleet erityisen suuria, joten luvut eivät viesti erityisestä ylivarovaisuudesta HCT-yhdistelmien ohituksissa.

Hyväksytyjen ja hylättyjen aikavälien avulla arvioitiin myös ohittajien käyttäytymisen johdonmukaisuutta. Mikäli ohittaja hyväksyi lyhyemmän aikavälin kuin oli aiemmin hylännyt, tulkittiin hänen käyttäytyvän epäjohdonmukaisesti. Epäjohdonmukaisesti käyttäytyneiden kuljettajien osuus vaihteli reiteittäin välillä 9,1–21,6 %. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä epäjohdonmukaisesti käyttäytyneitä ohittajia oli suhteellisesti enemmän HCT-yhdistelmän kuin verrokkiyhdistelmän ohittajista. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä epäjohdonmukaisesti käyttäytyneitä kuljettajia oli suhteellisesti suurempi osuus verrokkiyhdistelmän ohittajista. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä epäjohdonmukaisesti käyttäytyneiden ohittajien suhteellisessa osuudessa ei ollut merkittävää eroa ajoneuvoyhdistelmien ohittajien välillä. Näiden havaintojen perusteella ei siis voida sanoa, että HCT-yhdistelmien ohittajat olisivat käyttäytyneet epäjohdonmukaisemmin kuin verrokkiyhdistelmien ohittajat tai toisinpäin.

Hyväksytyjen, hylättyjen ja kriittisten aikavälien suuruuteen liittyviin tuloksiin aiheuttivat virhettä useat eri tekijät. Suurin osa kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista oli sellaisia, joissa vastaantuleva ajoneuvo ei ollut näkyvissä ohituksen alkessa, vaan näkemää rajoitti maastoeste. Tällaisissa tapauksissa hyväksytyn tai hylätyn aikavälin suuruus määritettiin Liikenneviraston tierekisterin näkemäpituustietojen ja tieosan nopeusrajoituksen avulla. Tierekisterissä ilmoitettujen näkemän ääriarvojen välillä näkemän oletettiin muuttuvan lineaarisesti. Koska ääriarvojen välisiä näkemiä arvioitiin lineaarisuusoletuksen perusteella, eivät laskennassa käytetyt näkemät välttämättä vastanneet täysin todellista tilannetta. Toisaalta samaa oletusta on yleisesti

käytetty myös muissa ohitusnäkemä käsitellessä suomalaisissa tutkimuksissa. Toinen näkemäpituuteen liittyvä virhelähde on se, että tierekisterin tietokannassa ilmoitetut näkemät on mitattu käyttäen sekä silmäpiste- että estekorkeutena 1,1 metriä. Jos näkemäpituudeksi on ilmoitettu esimerkiksi 800 metriä, tarkoittaa se sitä, että kuljettaja voi nähdä 1,1 metriä korkean esteen, joka on 800 metrin päässä. Tienpinta ei kuitenkaan välttämättä ole näkyvissä koko matkalla, jolloin kuljettaja ei voi tietää, kuinka suuri osa tiestä häneltä jää näkemättä ja onko näkemättä jäävällä tieosalla vastaantulijoita. Mikäli tierekisterissä ilmoitetut näkemäpituuden arvot olisi mitattu käyttämällä estepisteen korkeutena esimerkiksi 0,6 tai 0 metriä, olisivat näkemäpituuden arvot lyhyempiä sekä vertailukelpoisempia niiden ohitusnäkemien kanssa, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä. Lisäksi virhettä aiheuttaa se, että tierekisterin näkemäpituustiedot on ilmoitettu vain inventointisuunnassa, jolloin vastakkaisen suunnan näkemä joudutaan arvioimaan matemaattisesti luvussa 5.4 esitetyllä tavalla. Koska silmäpiste- ja estekorkeus ovat yhtä suuria, voidaan kuitenkin olettaa, että arviointimenetelmästä johtuva virhe inventointisuuntaa vastakkaisen suunnan näkemäpituuksissa on melko pieni.

Niissä tapauksissa, joissa ohituspäätöstä tehtäessä oli näkyvissä vastaantulevaa liikennettä, jouduttiin arvioimaan ensimmäisen vastaantulevan ajoneuvon nopeutta. Nopeuden arvioitiin olevan tieosan nopeusrajoituksen suurin tai vastaantulevan ajoneuvon ajoneuvotyypille sallittu suurin nopeus, mikäli se oli tieosan nopeusrajoitusta alhaisempi. Koska vastaantulevien ajoneuvojen todelliset nopeudet todennäköisesti poikkesivat jossain määrin nopeusrajoituksesta, myös tästä aiheutui virhettä ohitusaikeileihin liittyviin tuloksiin.

Videomateriaalista määritettiin myös turva-aikoja erilaisten ajoneuvoyhdistelmien ohitusturvallisuuden vertailemiseksi. Koska kaikilla reiteillä todettiin, että turva-ajan pituudella ja vastaantulevan liikenteen määrällä oli tilastollisesti erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio, olivat turva-ajat pisimpiä liikennemäärältään hiljaisimmalla reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi. Kyseisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli noin 60 sekuntia ja mediaani noin 40 sekuntia. Verrokkiyhdistelmän ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli noin 59 sekuntia ja mediaani noin 31 sekuntia. Kahdella muulla reitillä turva-ajat olivat suurempien liikennemäärien vuoksi merkittävästi lyhyempiä: Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli noin 20 sekuntia ja mediaani noin 15 sekuntia. Verrokkiyhdistelmän ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli noin 40 sekuntia ja mediaani noin 21 sekuntia. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä HCT-yhdistelmän ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli noin 25 sekuntia ja mediaani noin 18 sekuntia. Verrokkiyhdistelmän ohituksissa turva-aikojen keskiarvo oli noin 24 sekuntia ja mediaani noin 17 sekuntia. Ainoastaan Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä turva-aikojen keskiarvojen ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä todettiin tilastollisesti merkitseväksi. Toisaalta myös vastaantulevan liikennemäärän keskiarvossa oli tällä reitillä merkittävä yhdistelmien välinen ero: vastaantulevan liikenteen määrän keskiarvo oli 187 ajoneuvoa tunnissa HCT-yhdistelmän ohituksissa ja 144 ajoneuvoa tunnissa verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Verrokkiyhdistelmän aineistossa oli myös enemmän myöhään illalla ja yöllä tapahtuneita ohituksia, joissa turva-ajat olivat huomattavan pitkiä. Onkin todennäköistä, että keskimääräisten turva-aikojen erot johtuivat ensisijaisesti erisuurista liikennemääristä.

Yleisesti ottaen keskimääräiset turva-ajat olivat kaikilla reiteillä suhteellisen pitkiä. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että ohittamaan pyrkivät kuljettajat olivat yleensä haluttomia suorittamaan ohituksia, mikäli vastaantulevia ajoneuvoja oli näkyvissä. Ohituksia, joissa vastaantulevia ajoneuvoja oli näkyvissä ohituksen alkaessa, oli reitistä ja ajoneuvoyhdistelmästä riippuen 4–29 % kaikista ohituksista. Tällaisissa ohituksissa turva-ajat olivat luonnollisesti merkittävästi lyhyempiä kuin sellaisissa ohituksissa, joissa vastaantulijoita ei ollut näkyvissä. Tällaisissa ohituksissa turva-aikojen keskiarvot vaihtelivat ajoneuvoittain välillä 8–11 sekuntia, eivätkä turva-ajat HCT- ja verrokkiyhdistelmien ohituksissa eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi millään reitillä. Keskimääräiset turva-ajat eivät siis anna viitteitä siitä, että ohitusturvallisuudessa olisi merkittävää eroa HCT- ja verrokkiyhdistelmien välillä.

Hyvin lyhyiksi turva-ajoksi luokiteltiin alle neljän sekunnin pituiset turva-ajat. Tällaisia hyvin lyhyitä turva-aikoja havaittiin kaikista tavallisilla kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista yhteensä 16 kappaletta eli niiden osuus kaikista turva-ajoista oli 1,4 %. Näistä HCT-yhdistelmien ohituksia oli yhdeksän ja verrokkiyhdistelmien ohituksia seitsemän kappaletta. Lyhyitä turva-aikoja havaittiin suhteellisesti vähiten (1 kpl) Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä ja suhteellisesti eniten (11 kpl) Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä. Loput neljä lyhyen turva-ajan ohitusta tapahtuivat Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä. Missään lyhyen turva-ajan ohituksessa ei arvioitu kohtaamisonnettomuuden tai muunlaisen onnettomuuden olleen hyvin lähellä tapahtua. Kahdessa HCT-yhdistelmän ohituksessa yhdistelmien kuljettajat edesauttoivat ohituksen loppuunsaattamista hidastamalla vauhtiaan ja yhdessä verrokkiyhdistelmän ohituksessa vastaantulevan ajoneuvon havaittiin väistäneen ohittajaa pientareelle, mutta erityisen voimakkaita jarrutuksia tai äkkinäisiä väistöliikkeitä ei havaittu. Ohitukset, joissa turva-aika jäi lyhyeksi, tapahtuivat yleensä tienkohdissa, joissa näkemä oli maastoesteiden vuoksi verrattain lyhyt, ja ohituksen aikana maastoesteiden takaa ilmestyi vastaantuleva ajoneuvo.

Kuten edellä todettiin, turva-aikojen ja vastaantulevan liikenteen määrän välillä todettiin tilastollisesti erittäin merkitsevä korrelaatio. Niinpä reittien ja ajoneuvoyhdistelmien väliset erot turva-aikojen pituuksissa ovat selitettävissä suurelta osin liikennemäärien eroilla. Erityisesti tulokset sellaisista ohituksista, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa, osoittavat, etteivät turva-ajat HCT- ja verrokkiyhdistelmien välillä eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Tässä työssä saatujen tulosten perusteella ei siis näytä siltä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohitusturvallisuudessa olisi ollut puutteita tavallisten ajoneuvoyhdistelmien ohitusturvallisuuteen verrattuna.

Turva-ajan pituuden määrittäminen perustuu kahteen ajanhetkeen; ohituksen päättymiseen ja ohittajan ja ensimmäisen vastaantulevan ajoneuvon kohtaamiseen. Turva-aikaan liittyvissä tuloksissa on kaksi virhelähdettä: mittauslaitteiston kellon rajallinen tarkkuus sekä ohittajan ja ensimmäisen vastaantulevan ajoneuvon kohtaamishetken silmämääräiseen määrittämiseen liittyvä epätarkkuus. Edellisen virhelähteen merkitys korostuu hyvin lyhyissä turva-ajoissa, kun taas jälkimmäisen virhelähteen merkitys on suurempi pitkien turva-aikojen tapauksissa, joissa ajoneuvojen kohtaaminen tapahtuu kaukana ohitetusta ajoneuvoyhdistelmästä ja sen etukamerasta. Tutkimuksen kannalta lyhyet turva-ajat ovat mielenkiintoisimpia, mutta niitä havaittiin verrattain vähän. Pitkien turva-aikojen tapauksessa absoluuttiset virheet ovat suurempia, mutta tutkimuksen kannalta eivät yhtä merkityksellisiä. Niinpä turva-aikoihin liittyviä tuloksia voidaan pitää riittävän tarkkoina kuvaamaan tutkittua ilmiötä.

9.2 Jonoutuminen

Ohitusten lisäksi tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, havaitaanko videomateriaalissa ajoneuvoyhdistelmien välisiä eroja jonoutumiseen liittyen. Jonoutumisen osalta tutkittiin erityisesti kahta tekijää: sitä, kuinka pitkiä jonot ajoneuvoyhdistelmien takana keskimäärin olivat sekä sitä, kuinka kauan ja kuinka pitkän matkan ajoneuvoyhdistelmien takana ensimmäisenä ajavat ajoneuvot ajoivat ennen kuin suorittivat ohituksen tai ennen kuin jonotus jostain muusta syystä päättyi.

Kullakin tutkituista reiteistä vähintään noin puolet havainnoista oli sellaisia, joissa ajoneuvoyhdistelmien takana ei ollut yhtään ajoneuvoa jonossa. Pisimmät havaitut jonot olivat yhdeksän ajoneuvon mittaisia, mutta valtaosa havaituista jonoista oli yhden, kahden tai kolmen ajoneuvon muodostamia ja pitkiä jonoja havaittiin harvoin. Analysoidun materiaalin perusteella jonoutuminen ajoneuvoyhdistelmien takana ei siis ollut ongelma millään tutkituista reiteistä. Kullakin reitillä keskimääräinen jononpituus HCT-yhdistelmän perässä oli pidempi kuin keskimääräinen jononpituus verrokkiyhdistelmän perässä. Osittain tätä selittää se, että HCT- ja verrokkiyhdistelmien ajoajat erosivat toisistaan, minkä johdosta myös liikennemäärät HCT- ja verrokkiyhdistelmien ajamien matkojen aikana olivat erisuuria. HCT-yhdistelmien ajamilla matkoilla liikennemäärät olivat LAM-pisteistä saatujen tietojen perusteella keskimäärin suurempia kuin verrokkiyhdistelmien ajamilla matkoilla. Koska korrelaatiotarkasteluissa todettiin matkan keskimääräisen liikennemäärän korreloivan voimakkaasti matkan keskimääräisen jononpituuden kanssa, voidaan olettaa, että pidemmät jonot HCT-yhdistelmien takana selittyvät osittain suuremmilla liikennemäärillä.

Suurempien liikennemäärien lisäksi on löydettävissä ajoneuvoyhdistelmien ominaisuuksiin liittyviä tekijöitä, jotka osaltaan kasvattivat keskimääräistä jononpituutta HCT-yhdistelmien perässä. Ohitukseen liittyvien tulosten yhteydessä todettiin, että HCT-yhdistelmien ohittamiseksi vaadittiin keskimäärin hieman pidempiä aikavälejä kuin verrokkiyhdistelmien ohittamiseksi. Mitä pidempi ohitukseen vaadittava aikaväli on, sitä pienempi on vähintään kyseisen suuruisen aikavälin esiintymistodennäköisyys, jolloin jonotusaika ja keskimääräinen jononpituus kasvavat. Kaikilla reiteillä todettiin lisäksi HCT-yhdistelmien keskinopeuksien olleen verrokkiyhdistelmien keskinopeuksia alhaisempia, minkä vuoksi HCT-yhdistelmien saavutettavuus oli verrokkiyhdistelmää suurempi. Myös tämä kasvattaa osaltaan keskimääräistä jononpituutta, sillä ohittaminen ei ole useinkaan mahdollista heti, kun edellä ajava ajoneuvo saavutetaan. Lisäksi seuranta-aikoja tutkittaessa havaittiin, että hieman suurempi osa HCT-ajoneuvoyhdistelmän saavuttaneista kuljettajista päätti olla ohittamatta edellä ajavaa yhdistelmää, mikä myös kasvatti keskimääräistä jononpituutta HCT-yhdistelmien perässä. Se, että HCT-yhdistelmä jätettiin ohittamatta hieman verrokkiyhdistelmää useammin, on todennäköisesti sidoksissa suurempiin liikennemääriin, mutta oma vaikutuksensa ohittamatta jättämiseen oli todennäköisesti myös sillä, että ohitettavana oli tavallista pidempi, pitkä kuljetus -kyltillä varustettu ajoneuvoyhdistelmä. Suurempi jonoutuminen HCT-yhdistelmien perässä johtuikin useamman tekijän yhteisvaikutuksesta, ja yksittäisten tekijöiden vaikutuksen suuruutta jonoutumiseen on vaikea arvioida ilman tarkempia liikennemäärätietoja ja esimerkiksi simulointeihin perustuvia tutkimuksia.

Jononpituuteen liittyviin tuloksiin liittyy jonkin verran epätarkkuutta. Ensinnäkin jononpituus ajoneuvoyhdistelmien takana tilastoitiin viiden minuutin välein. Havaintoajkojen välillä jononpituus saattoikin olla hetkellisesti esimerkiksi suurempi kuin edellä mainitut pisimpien jonojen arvot. Havaintotiheyden kasvattamisella jononpituustietojen tarkkuutta voitaisiin parantaa, mutta toisaalta jononpituuden jatkuva seuranta ei olisi työmäärään nähden mielekäästä. Viiden minuutin havaintotiheydellä jonoutumisesta todettiin saatavan riittävän hyvä yleiskuva.

Toinen epätarkkuustekijä jononpituuden määrittämisessä on se, että ajoneuvoyhdistelmien takana ajavien ajoneuvojen välisten aikavälien määrittäminen perustuu silmämääräiseen arviointiin. Videomateriaalin perusteella on siis määriteltävä, onko ajoneuvoyhdistelmän ja sen perässä ajavan ajoneuvon välinen aikaväli enintään kolmen sekunnin suuruinen. Mikäli ajoneuvoyhdistelmän takana on useampia ajoneuvoja, arviointi tulee suorittaa myös niiden välisten aikavälien osalta, jotta kokonaisjononpituus saadaan selville. On selvää, että virheen mahdollisuus on ilmeinen etenkin jos ajoneuvojen välinen aikaväli on lähellä kolmea sekuntia. Virheen mahdollisuus jononpituuden määrittämisessä kasvaa sitä suuremmaksi, mitä suurempi on ajoneuvoyhdistelmän takana ajavien ajoneuvojen määrä, koska etäisyys taaimpina ajaviin ajoneuvoihin kasvaa. Lisäksi joissain tilanteissa ajoneuvoyhdistelmien takana ajavien ajoneuvojen määrää ei voinut videomateriaalin perusteella nähdä. Ensimmäisenä ajoneuvoyhdistelmän takana ajanut ajoneuvo saattoi peittää näkyvyyden taaksepäin tai ajoneuvojen määrää ei nähty esimerkiksi tiessä olevan kaarteiden tai mäenharjanteiden vuoksi. Tällöin jononpituus määriteltiin heti, kun se oli mahdollista. Koska analysoidussa materiaalissa pitkiä jonoja havaittiin verrattain vähän, voidaan silmämääräisestä arvioinnista johtuvat virheet olettaa luonteeltaan satunnaisiksi ja niiden merkitys esitetyissä tuloksissa vähäiseksi.

Jonoutumiseen liittyen tutkittiin myös seuranta-aikaa eli sitä, kuinka kauan ajoneuvoyhdistelmien takana ajettiin ensimmäisenä jonottajana ennen ohituksen suorittamista tai ennen kuin ensimmäisen jonottajan paikalta poistuttiin muusta syystä. Seuranta-aikojen pituuksista laskettiin sekä keski- että mediaaniarvoja. Koska poikkeuksellisen pitkät seuranta-ajat kasvattavat seuranta-ajan keskiarvoa voimakkaasti, ovat seuranta-aikojen mediaaniarvot vertailun kannalta käyttökelpoisempia. Lentävissä ohituksissa ja jono-ohituksissa seuranta-aika määriteltiin nollassa, ja koska eri ohitustyyppien (lentävä ohitus, jono-ohitus ja kiihdytysohitus) suhteelliset osuudet vaihtelivat ajoneuvoittain, todettiin vertailukelpoisimpia tuloksia saatavan vain kiihdytysohitukseen päättyneitä seuranta-aikoja vertailemalla.

HCT-yhdistelmien tapauksessa kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keskiarvot olivat 11–39 sekuntia pidempiä kuin verrokkiyhdistelmien tapauksessa, mutta millään reitillä keskiarvojen ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä. HCT-yhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän välinen ero oli pienin Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä, ja tämä oli myös ainoa reitti, jolla kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen mediaani oli HCT-yhdistelmän tapauksessa lyhyempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Kokonaisuutena tulokset antavat viitteitä siitä, että HCT-yhdistelmää ohitettaessa sopivaa ohituspaikkaa joudutaan odottamaan hieman pidempään. Tämä on luonnollista, sillä pidemmän yhdistelmän ohittamiseksi vaaditaan pidempi vastaantulevasta liikenteestä vapaa aikaväli. Toisaalta pidempiä seuranta-aikoja selittävät luonnollisesti myös suuremmat liikennemäärät HCT-yhdistelmien ajamien matkojen aikana. Myös ajoneuvoyhdistelmien kuljettajien toiminta saattoi vaikuttaa seuranta-aikojen pituuteen: mikäli ajoneuvoyhdistelmän kuljettaja viestii

suuntamerkillä tien olevan vapaa ohittamisen suorittamiseksi, on ohituspäätöksen teko helpompaa ja nopeampaa.

Ohituksia edeltäneiden jonotusten lisäksi tutkittiin niitä seuranta-aikoja, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella, vaan esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmän tai sen perässä ajavan ajoneuvon reittien erkaantumiseen. Tällaisten seuranta-aikahavaintojen määrä, seuranta-aikojen yhteenlaskettu kesto sekä seuranta-aikojen keskiarvo olivat kaikilla reiteillä HCT-yhdistelmien tapauksessa suurempia kuin verrokkiyhdistelmien tapauksessa. Savonlinnan ja Lappeenrannan sekä Rovaniemen ja Ivalon välisillä reiteillä myös seuranta-aikojen mediaaniarvot olivat HCT-yhdistelmien tapauksessa pidempiä kuin verrokkiyhdistelmien tapauksessa. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä seuranta-ajan mediaani oli HCT-yhdistelmän tapauksessa hieman lyhyempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Tulosten perusteella HCT-yhdistelmien perässä ajettiin keskimäärin useammin ja keskimäärin pidempiä matkoja suorittamatta ohitusta kaksikaistaisella tieosuudella. Luonnollisena selityksenä tälle ovat jälleen suuremmat liikennemäärät HCT-yhdistelmien ajamilla matkoilla, mutta on mahdollista, että osa kuljettajista päätti jättää HCT-yhdistelmän ohittamatta vieroksuen sen pituudesta johtuvaa pidempää ohitusmatkaa. Kempeleen ja Vantaan sekä Savonlinnan ja Lappeenrannan välisillä reiteillä sellaisten kuljettajien osuus, jotka eivät ohittaneet edellä ajavaa HCT-yhdistelmää kaksikaistaisella tieosuudella, oli noin viisi prosenttiyksikköä suurempi kuin sellaisten kuljettajien osuus, jotka eivät ohittaneet verrokkiyhdistelmää kaksikaistaisella tieosuudella. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä verrokkiyhdistelmän ohittamatta jättäneitä kuljettajia oli noin yksi prosenttiyksikkö enemmän kuin HCT-yhdistelmän ohittamatta jättäneitä kuljettajia. Reittien tulokset eivät siis ole täysin yhteneviä, eivätkä HCT- ja verrokkiyhdistelmien väliset erot toisaalta kovin suuria. Lisäksi on huomioitava, että seuranta-aikoihin liittyviin tuloksiin aiheuttavat virhettä samat silmämääräiseen havainnointiin liittyvät tekijät kuin jononpituuden määrittämisessäkin.

9.3 Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli myös saada tietoa HCT-ajoneuvoyhdistelmien ja normaalikokoisten ajoneuvoyhdistelmien ajoneuvodynaamisen käyttäytymisen eroista. Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyen tutkittiin kahta osa-aluetta: ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia sekä niiden liikkumista kierto- ja muissa liittymissä. Lisäksi videomateriaalin avulla pyrittiin tekemään myös muita havaintoja ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymisestä.

Ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia tutkittiin sekä keskinopeuksina yhdensuuntaisten matkojen aikana että hetkellisinä nopeuksina yhdessä kultakin reitiltä valitussa määssä. HCT-yhdistelmien keskinopeudet yhdensuuntaisten matkojen aikana olivat kaikilla reiteillä hieman verrokkiyhdistelmien keskinopeuksia alhaisempia. Suuntakohtaisesti vertailtuna HCT-yhdistelmien keskinopeudet olivat noin 1–3 km/h verrokkiyhdistelmien keskinopeuksia alhaisempia lukuun ottamatta Lappeenrannasta Savonlinnaan ajettuja matkoja, joilla HCT-yhdistelmän nopeus oli keskiarvoltaan 6,5 km/h verrokkiyhdistelmän keskinopeutta alhaisempi. Lappeenrannasta Savonlinnaan ajettut matkat eivät kuitenkaan olleet reiteiltään yhteneviä, sillä verrokkiyhdistelmän matka päättyi usein Parikkalaan Savonlinnan sijasta. Lisäksi tähän suuntaan verrokkiyhdistelmä ajoi useimmiten tyhjänä, kun HCT-yhdistelmä ajoi puolestaan kuormattuna. Voidaan siis todeta, että kuormien ja reittien puolesta vertailukelpoisemmillä matkoilla HCT- ja verrokkiyhdistelmien keskinopeuksien ero oli verrattain pieni. Lisäksi on huomattava,

että tuloksia voidaan pitää vain suuntaa-antavina, sillä havaintojen määrä oli varsin vähäinen: keskinopeuksia laskettiin vain niiltä yhdensuuntaisilta matkoilta, joilta myös ohituksia ja jonoutumista analysoitiin. Keskinopeuksien laskemisen tarkoituksena oli-kin lähinnä tuottaa taustatietoa ohittamisesta ja jonoutumisesta tehtävän analyysin tueksi.

Sillä, että HCT-ajoneuvojen keskinopeudet tutkituilla matkoilla todettiin hieman verrokkiyhdistelmän keskinopeuksia alhaisemmaksi, on vaikutuksia sekä jonoutumiseen että ohittamiseen liittyviin tekijöihin. Hitaamman keskinopeuden vuoksi useammat ajoneuvot saavuttavat HCT-ajoneuvoyhdistelmän, jolloin syntyy ohituskysyntää. Mikäli ohitusta ei voida suorittaa heti, tapahtuu jonoutumista. Toisaalta hitaampi keskinopeus edesauttaa ohittamista, sillä ohitukseen kuluva matka ja siten myös ohitukseen tarvittavan vastaantulevasta liikenteestä vapaan tiealueen pituus pienenevät. On siis teoreettisen riippuvuussuhteen mukaisesti luonnollista, että hieman hitaammin ajavista HCT-yhdistelmistä saatiin verrokkiyhdistelmiä enemmän ohitus- ja jonohavaintoja, joskin merkittävämpi syy on todennäköisesti se, että liikennemäärät HCT-yhdistelmien ajamilla matkoilla olivat suurempia kuin verrokkiyhdistelmien ajamilla matkoilla.

Keskinopeuksien lisäksi kultakin reitiltä valittiin yksi mäki, jossa HCT- ja verrokkiyhdistelmien nousunopeuksia vertailtiin. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä nousunopeuksia tutkittiin Saariselän pohjoispuolella sijaitsevassa Magneettimäessä, Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä nopeuksia tutkittiin Äänekoskella sijaitsevassa Petomäessä ja Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä nopeuksia tutkittiin Parikkalassa sijaitsevassa mäessä, jota tässä työssä nimitettiin Vaaranmäeksi. Kyseiset mäet valikoituivat tutkittaviksi mäiksi sillä perusteella, että niissä ajoneuvoyhdistelmien nopeudet laskivat muita nousuja alemmas mäkien pituudesta ja jyrkkyydestä johtuen. Magneettimäen pituus on noin 3600 metriä, Petomäen pituus noin 1600 metriä ja Vaaranmäen pituus noin 850 metriä.

HCT- ja verrokkiyhdistelmien väliset erot mäkien nousuajoissa olivat sitä suurempia, mitä pidemmästä mäestä oli kyse. Keskimääräinen nousuaikojen ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä oli Magneettimäessä 23,5 sekuntia, Petomäessä noin 13 sekuntia ja Vaaranmäessä 6,5 sekuntia. Vastaavasti HCT-yhdistelmien keskinopeudet sekä nousuissa havaitut alhaisimmat nopeudet olivat verrokkiyhdistelmien nopeuksia alhaisempia. Magneettimäessä HCT-yhdistelmän keskinopeus oli keskiarvoltaan 36,6 km/h ja alin nopeus keskimäärin 23,4 km/h, kun verrokkiyhdistelmän tapauksessa keskinopeus oli keskimäärin 39,2 km/h ja alimman havaitun nopeuden keskiarvo 25,6 km/h. Petomäessä HCT-yhdistelmän keskinopeuden keskiarvo oli 51,3 km/h ja alin nopeus keskimäärin 36,3 km/h, kun verrokkiyhdistelmän tapauksessa keskinopeus oli keskimäärin 58,1 km/h ja alin havaittu nopeus keskiarvoltaan 46,5 km/h. Vaaranmäessä HCT-yhdistelmän keskinopeus oli keskiarvoltaan 58,6 km/h ja alin nopeus keskimäärin 37,9 km/h, kun verrokkiyhdistelmän tapauksessa keskinopeuden keskiarvo oli 66,8 km/h ja alimman nopeuden keskiarvo 45,7 km/h. Lukuja tarkasteltaessa on huomioitava, että Magneettimäessä ja Petomäessä HCT- ja verrokkiyhdistelmän alkunopeudet olivat keskimäärin lähes yhtä suuria, kun taas Vaaranmäessä verrokkiyhdistelmän alkunopeus oli keskimäärin yli 7 km/h suurempi kuin HCT-yhdistelmän alkunopeus. Vaaranmäessä HCT- ja verrokkiyhdistelmän nopeudet laskivatkin jotakuinkin yhtä paljon.

Pääasiallisesti ajoneuvoyhdistelmillä ei todettu olevan erityisiä ongelmia tutkittujen mäkien nousuissa. Rovaniemen ja Ivalon väliseltä reitiltä kerätystä aineistosta tehtiin yksi havainto, jossa HCT-ajoneuvoyhdistelmä hetkellisesti pysähtyi Magneettimäkeen pidon loppumisen vuoksi ja varsinainen perävaunu vedettiin mäen päälle tavallisella ajoneuvoyhdistelmällä. Pidon loppuminen johtui erittäin liukkaasta kelistä sekä epäsuotuisasta kuormansijoittelusta, jonka johdosta vetäville akseleille kohdistuva kuorma oli tavallista pienempi. Vaikka HCT-ajoneuvoyhdistelmän mäennousukyky havaittiin keskimäärin lähes yhtä hyväksi kuin verrokkiyhdistelmän, on tapaus osoitus siitä, että kuorman jakautumiseen vetävien ja muiden akselien kesken on kiinnitettävä erityistä huomiota ja että säätilaa ja tien liukkautta on havainnoitava jatkuvasti. Vaikka HCT-ajoneuvoyhdistelmä on varustettu hiekoittimella, vetävien pyörien alle ketjua heittävällä On Spot -laitteella ja akselinnostolaitteella, jolla vetäville akseleille kohdistuvaa kuormaa voidaan säätää, on tarvittaessa odotettava esimerkiksi hiekoitusta tai muita tienpitäjän toimenpiteitä, mikäli mäen nousemiseen liittyy epävarmuutta.

Kuten myös yhdensuuntaisten matkojen aikana, syntyy ohituskysyntää sitä enemmän, mitä alhaisempi ajoneuvoyhdistelmän nopeus on muuhun liikennevirtaan nähden. Tutkituista mäistä Petomäki on nousun suuntaan ohituskaistallinen, joten syntyvä ohitus-tarve voidaan purkaa, eivätkä ajoneuvoyhdistelmät kyseisessä mäessä aiheuta viivytyksiä muulle liikenteelle. Kaksi muuta tutkittua mäkeä ovat kaksikaistaisia, joten syntynyt ohituskysyntä aiheuttaa ajoittain jonoutumista. Erityisesti tämä oli havaittavissa Magneettimäessä, joka oli tutkituista mäistä pisin ja haasteellisin. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että mäkien nouseminen kesti HCT-yhdistelmiltä hieman verrokkiyhdistelmiä kauemmin, ja tämän myötä viivytykset muulle liikenteelle olivat hieman suurempia. Erot ovat sitä suurempia, mitä jyrkemästä ja pidemmästä mäestä on kyse.

Ajoneuvoyhdistelmien keskinopeudet sekä yhdensuuntaisilla matkoilla että nousujen aikana laskettiin yksinkertaisesti matkaan käytetyn ajan ja matkan pituuden avulla, joten keskinopeuksiin liittyvät tulokset ovat verrattain tarkkoja. Ajoneuvoyhdistelmien hetkellisiä nopeuksia seurattiin tutkimuslaitteiston GPS-paikantimen tuottaman nopeustiedon avulla. Kuten aliluvussa 9.1 todettiin, laitteisto ilmoittaa nopeustiedon yhden tuntikilometrin tarkkuudella ja nopeus päivittyy muutaman sekunnin välein. Tämän vuoksi hetkellisessä nopeudessa esiintyy pientä epätarkkuutta erityisesti tilanteissa, jossa ajoneuvon nopeus muuttuu nopeasti. Tämä näkyy esimerkiksi siinä, että ajoneuvoyhdistelmien nousunopeuksia kuvaavissa kuvissa 8.1, 8.2 ja 8.3 ajoneuvoyhdistelmien nopeudet näyttävät muuttuvan portaittain, mikä ei luonnollisesti vastaa todellista tilannetta. Kerätyn aineiston avulla saatiin kuitenkin hyvä yleiskuva ajoneuvoyhdistelmien nopeustasojen erojen suuruusluokasta. Syvällisemmin ajoneuvodynamiikkaan keskittyvissä tutkimuksissa on syytä käyttää tarkempaa nopeudenmittausmenetelmää sekä ottaa huomioon esimerkiksi keliolosuhteiden, ajoneuvoyhdistelmien kokonaismassan sekä kuljettajien toiminnan vaikutukset ajoneuvoyhdistelmien nopeuksiin.

Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymistä kiertoliittymissä ja reitin muissa liittymissä tutkittiin analysoimalla kerättyä videomateriaalia. Analyysin perusteella todettiin, että HCT-ajoneuvoyhdistelmät mahtuivat ajamaan liittymistä ilman merkittäviä ongelmia. Pitkien yhdistelmien tilantarve oli kuitenkin nähtävissä yhdistelmien taaimmaisten pyörien suurempana oikaisuna kiertoliittymien kiertosaarekkeen puolelle sekä laajempina ajolinjoina myös muissa liittymissä. Joissakin liittymissä HCT-yhdistelmät myös suorittivat käännöksen osittain tai kokonaan suoraan ajaville tarkoitetulta kaistalta. Kiertoliittymissä ajettaessa HCT-yhdistelmät joutuivat hyödyntämään käytettävissä

olevan tilan tarkasti hyväkseen, joten niissä liikkuminen vaati erityistä tarkkuutta. Eri-tyisesti Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä oli lisäksi havaittavissa, että talviset olo-suhteet lisäsivät liittymäajon haasteellisuutta käytettävissä olevan tilan vähenemisen ja pidon heikkenemisen myötä. Tämä näkyi erityisesti kiertoliittymissä varsinaisen pe-rävaunun kallisteleminen sekä sen takapään sivuttaissuuntaisena liukumisena kiertosaarekkeen kaltevalta, lumen ja jään liukastamalta kiveykseltä kiertoliittymän ulkoreu-naa kohti. Millään reitillä yhdistelmien ei kuitenkaan havaittu esimerkiksi osuneen liit-tymäalueiden liikennemerkkeihin eikä läheltä piti -tilanteitakaan havaittu.

Kerätty materiaali ja sen visuaalinen analysointi ei anna täysin kattavaa ja täsmällistä kuvaa ajoneuvoyhdistelmien liikeradoista kiertoliittymissä. Tarkempien tulosten saa-miseksi liikeratoja voitaisiin kuvata videokameralla varustetulla, kauko-ohjattavalla multikopterilla kiertoliittymien yläpuolelta. Näin nähtäisiin paremmin myös ajoneu-voyhdistelmien oikeanpuoleisten renkaiden liikeradat kiertoliittymän kiertotilaan ajet-taessa sekä siitä poistuttaessa. Tehdyn analyysin perusteella saatiin kuitenkin hyvä yleiskuva ajoneuvoyhdistelmien ajourien eroista. Sen perusteella voidaan todeta, että HCT-ajoneuvoyhdistelmät mahtuivat liikkumaan reittien liittymissä, mutta ylimää-räistä tilaa ei juuri jäänyt. Kaistaviivoin varustetussa Limingan kaksikaistaisessa kier-toliittymässä HCT-yhdistelmän nähtiin myös oikaisevan hieman kiertoliittymän sisem-män kaistan puolelle. Muissa kaksikaistaisissa kiertoliittymissä kaistaviivoja ei ollut, joten ajolinjojen vertailu ja oikaisun arviointi oli haastavaa. Voidaan kuitenkin todeta, että mikäli HCT-ajoneuvoyhdistelmät tulevaisuudessa yleistyvät, on niiden suurempi tilantarve syytä ottaa huomioon liittymiä suunniteltaessa. Tulosuuntien taivutuskul-maa kasvattamalla, kiertoliittymien ulkohalkaisijaa kasvattamalla ja keskisaarekkeen halkaisijaa pienentämällä sekä kaistaleveyttä kasvattamalla voitaisiin parantaa taval-lista pidempien ajoneuvoyhdistelmien liikkumisen sujuvuutta ja minimoida niiden vai-kutukset muulle liikenteelle. Lisäksi tien talvihoidollisia toimenpiteitä tehtäessä on kiinnitettävä huomiota siihen, että lumi vähentää käytettävissä olevaa tilaa mahdolli-simman vähän.

Videomateriaalin perusteella pyrittiin havainnoimaan myös muita ajoneuvoyhdistel-mien käyttäytymiseen liittyviä seikkoja nopeuksien ja liittymäajon lisäksi. Kuljetus Szepaniakin keskiakseliperävaunulla varustetun puoliperävaunuyhdistelmän sivuttais-suuntainen heilunta oli silmämääräisesti arvioiden Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän sivuttaissuuntaista heiluntaa voimakkaampaa. Muilta osin ajoneuvoyhdistelmien si-vuttaissuuntaisessa heilunnassa ei nähty merkittäviä HCT- ja verrokkiyhdistelmien vä-lisiä eroja tien linjaosuuksilla eikä yhdistelmien suorittamien aktiivisten ohitusten ai-kana. Myös jarrutuksissa yhdistelmät käyttäytyivät silmämääräisen arvion perusteella vakaasti. On kuitenkin todettava, että videomateriaaliin perustuva menetelmä ei ole tarpeeksi tarkka esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmien stabiliteetin vertailemiseksi. Niinpä tämän tutkimuksen perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä esimerkiksi ajoneuvoyh-distelmätyyppien sivuttaissuuntaisesta vakavuudesta. Eksaktien tulosten saamiseksi tarvittaisiin tietoa esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmien eri osien sivuttaiskiiktyvyyksistä. Ajoneuvoyhdistelmien stabiliteettiin liittyvää tutkimusta tehdään parhaillaan Oulun yliopistossa.

10 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä verrattiin kolmesta HCT-ajoneuvoyhdistelmästä ja kolmesta normaalikoisesta verrokiajoneuvoyhdistelmästä kerättyä tutkimusmateriaalia ohituskäyttäytymiseen, jononmuodostumiseen sekä ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyen. Tutkimusmateriaalia kerättiin kolmelta reitiltä siten, että kultakin reitiltä materiaalia kerättiin yhdellä HCT-yhdistelmällä ja yhdellä verrokkiyhdistelmällä. Ensimmäisenä tutkittiin reittiä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi, jolla liikennöivät Ketosen Kuljetus Oy:n 104 tonnia painava ja 33 metriä pitkä HCT-yhdistelmä sekä sen 76 tonnia painava ja noin 25 metriä pitkä verrokkiyhdistelmä. Molemmilla yhdistelmillä kuljetetaan raakapuuta pääasiassa Rovaniemen puutavaraterminaaliin. Toisena tutkittiin reittiä Kempele–Vantaa–Kempele, jolla liikennöivät Mikko Niskala Oy:n 90 tonnia painava ja 34,5 metriä pitkä HCT-ajoneuvoyhdistelmä sekä sen 64 tonnia painava ja noin 25 metriä pitkä verrokkiyhdistelmä. Yhdistelmillä kuljetetaan päivittäistavaroita Keskon Vantaan päävarastolta Kempeleen jakeluterminaaliin ja Oulun seudun kauppoihin. Kolmantena tutkittiin reittiä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna, jolla liikennöivät Orpe Kuljetus Oy:n 94 tonnia painava ja 31 metriä pitkä HCT-ajoneuvoyhdistelmä sekä sen verrokkiyhdistelmänä toiminut, Kuljetus Szepaniak Oy:n 68 tonnia painava ja noin 25 metriä pitkä verrokkiyhdistelmä. Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmällä kuljetetaan raakapuuta, kun taas Kuljetus Szepaniakin verrokkiyhdistelmällä kuljetetaan pääasiassa puuhaketta.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin ajoneuvoyhdistelmien ympärillä tapahtuvien asioiden videokuvaamista ja näin kerätyn materiaalin jälkianalysoimista. Analysoitu materiaali kerättiin lokakuun 2015 ja heinäkuun 2016 välisenä aikana. Kenttämittausten lisäksi työn osana tehtiin kirjallisuusselvitys, jossa selvitettiin raskaiden ajoneuvojen kokoa ja sitä määrittelevää lainsäädäntöä Suomessa, raskaiden ajoneuvojen vaikutuksia liikennevirtaan, HCT-kuljetusten tilannetta maailmalla sekä aiempia HCT-ajoneuvoista tehtyjä tutkimuksia. Kirjallisuusselvitys sekä reitin Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi materiaalin analysointi muodostivat työn kirjoittajan diplomityön, joka on julkaistu Aalto-yliopiston Aaltodoc-julkaisuarkistossa kesäkuussa 2016.

Ohituskäyttäytymisen tutkimiseksi analysoitiin 1200 kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtunutta, tutkittavien ajoneuvoyhdistelmien kannalta passiivista ohitusta. Näistä HCT-yhdistelmien ohituksia oli 686 kappaletta ja verrokkiyhdistelmien ohituksia 514 kappaletta. Valtaosa tutkituista ohituksista oli tavanomaisia kiihdytysohituksia. Lentäviä ohituksia ja jono-ohituksia oli reitistä ja ajoneuvosta riippuen yhteensä noin 30–40 % havaituista ohituksista. HCT- ja verrokkiyhdistelmien välillä ei havaittu merkittäviä ja systemaattisia eroja ohitustyyppien jakaumassa. Ohittaneista ajoneuvoista valtaosa (92–96 %) oli henkilö- ja pakettiautoja. Ohituksista 58 kappaletta tapahtui leveäkaistaisella tieosuudella, loput ohitukset poikkileikkaukseltaan tavallisilla kaksikaistaisilla teillä. Koska leveäkaistateillä ohituskäyttäytyminen eroaa jossain määrin ohituskäyttäytymisestä tavallisilla kaksikaistaisilla teillä, keskityttiin tilastollisessa analyysissä tavallisilla kaksikaistaisilla teillä tapahtuneisiin ohituksiin.

HCT-yhdistelmien ohitusten kestojen keskiarvot vaihtelivat reiteittäin välillä 5,7–5,9 sekuntia, kun taas verrokkiyhdistelmien ohitusten kestojen keskiarvot vaihtelivat välillä 4,6–5,2 sekuntia. Kaikilla reiteillä HCT-yhdistelmien ohitukset kestivät tilastollisesti merkitsevästi kauemmin kuin verrokkiyhdistelmien ohitukset. HCT-yhdistelmien ohitusten kestojen keskihajonta oli myös suurempi kuin verrokkiyhdistelmien

ohitusten kestojen keskihajonta. Sekä HCT- että verrokkiyhdistelmien ohitukset kestivät lyhyemmän aikaa kuin teoreettisten laskelmien perusteella oletettiin. Tämä johtui siitä, että ohittajien ylinopeudet ohitusten aikana olivat yleisiä, ja ohittajien ja ohitettavien ajoneuvojen väliset nopeuserot sen myötä suurempia kuin teoreettisissa laskelmissa.

HCT-yhdistelmien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskiarvo vaihteli reiteittäin välillä 75–82 km/h, kun verrokkiyhdistelmillä vastaava vaihteluväli oli 78–85 km/h. HCT-yhdistelmien nopeudet ohitusten aikana olivat reitistä riippuen keskiarvoltaan 1–6 km/h matalampia kuin verrokkiyhdistelmien ohitusten aikaiset nopeudet. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä, mutta kahdella muulla reitillä oli. Ohittajien nopeudet puolestaan korreloivat tilastollisesti merkitsevästi ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien nopeuksien kanssa, ja kaikilla reiteillä ohittajien nopeudet olivat hieman yli 30 km/h korkeampia kuin ohitettavien yhdistelmien nopeudet. Merkitsevä tekijä ohittajan nopeuden kannalta oli siis ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nopeus, kun taas ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän tyypillä ei havaittu vaikutusta ohituksissa käytettyihin nopeuksiin. Reitistä ja ajoneuvoyhdistelmästä riippuen 2–22 % ohituksista oli sellaisia, joissa ohittajan nopeus oli korkeintaan suurimman sallitun nopeuden suuruinen. Ylinopeuksien yleisyydessä ja suuruudessa ei havaittu eroja HCT- ja verrokkiyhdistelmien välillä.

Kustakin kaksikaistaisella tieosuudella tapahtuneesta ohituksesta tutkittiin hyväksytyn ja pisimmän hylätyn aikavälin pituus. Käyttämällä hyväksytyjen ja pisimpien hylätyjen aikavälien suuruuksia lähtötietoina, voitiin laskea kriittisen aikavälin pituus kunkin ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa suurimman uskottavuuden estimointimenetelmää käyttäen. Hyväksytyjen aikavälien pituudet olivat HCT-yhdistelmien ohituksissa keskimäärin hieman pidempiä kuin verrokkiyhdistelmien ohituksissa, mutta ainoastaan reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna HCT- ja verrokkiyhdistelmän välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä. Myös pisimpien hylätyjen aikavälien arvot olivat HCT-yhdistelmien ohituksissa keskimäärin hieman pidempiä kuin verrokkiyhdistelmien ohituksissa, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Koska hyväksytyjen ja pisimpien hylätyjen aikavälien arvot olivat HCT-yhdistelmien ohituksissa hieman pidempiä kuin verrokkiyhdistelmien ohituksissa, myös kriittisen aikavälin arvot olivat kullakin reitillä HCT-yhdistelmien ohituksissa verrokkiyhdistelmien vastaavia arvoja suurempia. HCT-yhdistelmien ohituksissa kriittisen aikavälin arvo vaihteli ajoneuvo- ja suuntaakohtaisesti välillä 25,0–27,6 sekuntia, kun vastaava vaihteluväli verrokkiyhdistelmien tapauksessa oli 21,8–26,1 sekuntia. Suurin HCT- ja verrokkiyhdistelmän välinen ero kriittisessä aikavälissä havaittiin reitillä Savonlinna–Lappeenranta–Savonlinna ja pienin reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi. Tulokset osoittavat, että HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohittajat varautuivat tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseen rationaalisesti eli vaatimalla ohitukseen hieman pidemmän vastaantulevasta liikenteestä ja näkemäesteistä vapaan tiealueen.

Ohitusaikavälien avulla tutkittiin myös ohituskäyttäytymisen johdonmukaisuutta. Epäjohdonmukaisesti käyttäytyneet ohittajat hyväksyivät ohitusaikaväliksi lyhyemmän aikavälin, kuin olivat aiemmin hylänneet. Epäjohdonmukaisesti käyttäytyneiden ohittajien osuus kaikista ohittajista vaihteli välillä 9,1–21,6 %. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä epäjohdonmukaisesti käyttäytyneitä ohittajia oli suhteellisesti enemmän HCT-yhdistelmän kuin verrokkiyhdistelmän ohittajista. Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä epäjohdonmukaisesti käyttäytyneitä kuljettajia oli suhteellisesti suurempi osuus verrokkiyhdistelmän ohittajista. Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä epä-

johdonmukaisesti käyttäytyneiden ohittajien suhteellisessa osuudessa ei ollut merkittävää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä. Näiden havaintojen perusteella ei siis voida sanoa, että HCT-yhdistelmien ohittajat olisivat käyttäytyneet epäjohdonmukaisemmin kuin verrokkiyhdistelmien ohittajat tai toisinpäin. Yleisesti ottaen materiaalista voitiin havaita, että ohittamaan pyrkivät kuljettajat olivat valmiita hylkäämään pitkiäkin aikavälejä, mikäli vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä.

Ohitusturvallisuutta puolestaan tutkittiin mittaamalla ohitusten turva-aikoja. Turva-aikojen pituudella ja vastaantulevan liikenteen määrällä todettiin tilastollisesti erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio; vastaantulevan liikenteen määrän kasvaessa turva-ajat lyhenivät. Niinpä pisimmät turva-ajat havaittiin reitillä Rovaniemi–Ivalo–Rovaniemi, jolla liikennemäärät olivat verrattain alhaisia. Kun verrattiin turva-aikoja HCT- ja verrokkiyhdistelmien ohituksissa, havaittiin, että ainoastaan Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä ajoneuvoyhdistelmien välinen ero turva-aikojen keskiarvoissa oli tilastollisesti merkitsevä. Ero johtui kuitenkin todennäköisesti siitä, että verrokkiyhdistelmän materiaalissa oli enemmän hiljaisen liikenteen aikana suoritettuja ohituksia, joiden pitkät turva-ajat kasvattivat turva-ajan keskiarvoa. Kahdella muulla reitillä HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa turva-aikojen pituudessa.

Kaikilla reiteillä havaittiin, että ohittamaan pyrkivät kuljettajat eivät yleensä suorittaneet ajoneuvoyhdistelmän ohitusta, mikäli vastaantulevia ajoneuvoja oli näkyvissä. Ohituksia, joissa vastaantulija oli näkyvissä ohituksen alkaessa, oli reitistä ja ajoneuvoyhdistelmästä riippuen 4–29 % kaikista ohituksista. Tällaisissa ohituksissa turva-ajat olivat keskimäärin 8–11 sekunnin mittaisia, eikä HCT- ja verrokkiyhdistelmien välillä nähty tilastollisesti merkitseviä eroja turva-aikojen pituuksissa. Hyvin lyhyiksi turva-ajoiksi luokiteltiin alle neljän sekunnin pituiset turva-ajat. Tällaisia ohituksia oli HCT-yhdistelmien ohituksista yhdeksän ja verrokkiyhdistelmien ohituksista seitsemän kappaletta eli yhteensä 1,4 % kaikista turva-ajoista. Missään lyhyen turva-ajan ohituksessa ei arvioitu kohtaamisonnettomuuden tai muunlaisen onnettomuuden olleen hyvin lähellä tapahtua. Voidaankin sanoa, että tässä työssä saatujen tulosten perusteella ei näytä siltä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohitusturvallisuudessa olisi ollut puutteita normaalipituisten ajoneuvoyhdistelmien ohitusturvallisuuteen verrattuna.

Jonoutumiseen liittyen tutkittiin jononpituuksia ajoneuvoyhdistelmien perässä sekä sitä, kuinka kauan ajoneuvoyhdistelmien perässä ajaneet ajoneuvot ajoivat ensimmäisinä jonottajina ennen kuin lähtivät ohitukseen tai ennen kuin jonotus jostain muusta syystä päättyi. Millään reiteistä jonoutuminen ei ollut ongelma, sillä ajoneuvoyhdistelmien perään kertyneet jonot olivat pääasiassa yhden, kahden ja kolmen ajoneuvon muodostamia jonoja, ja pitkiä jonoja havaittiin harvoin. HCT-yhdistelmät olivat jononjohtajina verrokkiyhdistelmiä useammin kaikilla reiteillä, minkä lisäksi keskimääräiset jononpituudet HCT-yhdistelmien perässä olivat pidempiä kuin verrokkiyhdistelmien perässä. Pidempi keskimääräinen jononpituus HCT-yhdistelmien perässä johtui osaltaan siitä, että liikennemäärät HCT-yhdistelmien ajamien matkojen aikana olivat suurempia kuin verrokkiyhdistelmien ajamien matkojen aikana. Liikennemääriltään suuremmilla Kempeleen ja Vantaan sekä Savonlinnan ja Lappeenrannan välisillä reiteillä keskimääräiset jononpituudet olivat merkittävästi suurempia kuin Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä, ja liikennemäärien todettiin korreloivan voimakkaasti keskimääräisen jononpituuden kanssa. Suurempaa jonoutumista HCT-yhdistelmien perässä selittää kuitenkin myös se, että HCT-yhdistelmien keskinopeudet olivat hieman verrokkiyhdistelmien keskinopeuksia alhaisempia ja saavutettavuus siten suurempi. HCT-yhdistelmien perässä myös ajettiin pidempiä matkoja ennen ohitusta, mitä selittää

luonnollisesti ainakin osittain se, että HCT-yhdistelmien ohittamiseksi vaadittiin pidempiä aikavälejä vastaantulevassa liikennevirrassa. Lisäksi HCT-yhdistelmien perässä havaittiin verrokkiyhdistelmiin verrattuna suhteellisesti hieman enemmän kuljettajia, jotka eivät suorittaneet ohitusta kaksikaistaisella tieosuudella. Suurempi jonoutuminen HCT-yhdistelmien perässä johtuikin edellä mainittujen tekijöiden yhteisvaikutuksesta.

Seuranta-aikoja analysoitaessa tutkittiin, kuinka pitkään ajoneuvot ajoivat tutkittujen ajoneuvoyhdistelmien perässä ensimmäisinä jonottajina ennen kuin lähtivät ohittamaan tai ennen kuin jonotus jostain muusta syystä päättyi. Erikseen tarkasteltiin ohituksiin kaksikaistaisilla tieosuuksilla päättäneitä seuranta-aikoja sekä muista syistä päättäneitä seuranta-aikoja. Kaikilla reiteillä kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keskiarvot ja pääsääntöisesti myös mediaaniarvot olivat HCT-yhdistelmien tapauksessa hieman pidempiä kuin verrokkiyhdistelmien tapauksessa. Millään reitillä kiihdytysohituksia edeltäneet seuranta-ajat HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa eivät kuitenkaan eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Pidempiä seuranta-aikoja HCT-yhdistelmien ohituksissa selittävät osittain suuremmat liikennemäärät HCT-yhdistelmien liikennöimisajankohtina. Kuitenkin myös ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän pituus vaikutti seuranta-aikoihin: pidemmän yhdistelmän ohittamiseksi vaadittiin pidempiä aikavälejä, joiden esiintymistä jouduttiin odottamaan hieman pidempään kuin verrokkiyhdistelmän ohittamiseksi vaaditun aikavälin löytymistä. Ylipäätään pitkä kuljetus -kytillä varustetun yhdistelmän ohittamista todennäköisesti harkittiin tarkemmin kuin normaalipituisten yhdistelmien ohittamista.

Myös sellaisissa tapauksissa, jossa jonotus päättyi ohituksen sijasta jostakin muusta syystä, olivat seuranta-aikojen keski- ja pääsääntöisesti myös mediaaniarvot HCT-yhdistelmien tapauksessa suurempia kuin verrokkiyhdistelmien tapauksessa. Näissäkin tapauksissa HCT- ja verrokkiyhdistelmien väliset erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Sellaisten havaintojen määrä, jossa ensimmäinen jonottaja ei ohittanut edellä ajavaa ajoneuvoyhdistelmää, oli HCT-yhdistelmien tapauksessa hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmien tapauksissa. Myös tällaisten seuranta-aikojen maksimikestot sekä kestojen kumulatiivinen summa olivat HCT-yhdistelmien tapauksessa pidempiä kuin verrokkiyhdistelmien tapauksessa. HCT-yhdistelmien perässä ajettiin siis useammin ja keskimäärin pidempiä matkoja suorittamatta ohitusta. Osalle kuljettajista pitkä kuljetus -kytillä varustetun yhdistelmän ohittamatta jättäminen saattoi olla ajoneuvoyhdistelmän pituuteen perustuva tietoinen päätös. On kuitenkin huomioitava, että liikennemäärät HCT-yhdistelmien liikennöimisajankohtina olivat suurempia kuin verrokkiyhdistelmien liikennöimisaikaan. Koska suurempi liikennemäärä vähentää pitkien aikavälien esiintymistodennäköisyyttä, selittyy osa ohittamattajättämispäätöksistä luonnollisesti liikennemäärillä. Lisäksi on huomioitava, että ero ohittamattajättämispäätösten suhteellisessa osuudessa HCT- ja verrokkiyhdistelmien välillä ei ollut kovinkaan suuri: Kempeleen ja Vantaan sekä Savonlinnan ja Lappeenrannan välisillä reiteillä ohittamattajättämispäätöksiä oli HCT-yhdistelmien tapauksessa noin viisi prosenttiyksikköä enemmän kuin verrokkiyhdistelmien tapauksessa. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä ohittamattajättämispäätöksiä oli HCT-yhdistelmän tapauksessa noin yksi prosenttiyksikkö vähemmän kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa.

Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyen vertailtiin HCT- ja verrokkiyhdistelmien keskinopeuksia niiltä matkoilta, joilta myös ohituksia ja jonoutumista analysoitiin. Keskinopeuksiin liittyen havaittiin, että kaikilla reiteillä HCT-yhdistelmien keskinopeudet olivat keskimäärin hieman alhaisempia kuin verrokkiyhdistelmien keskinopeudet. Yhdistelmien väliset erot eivät kuitenkaan olleet suuria, sillä matkoilla, jotka olivat reitillisesti yhteneviä ja joilla sekä HCT- että verrokkiyhdistelmä ajoivat joko kuormattuna tai tyhjänä, olivat HCT-yhdistelmien keskinopeuksien keskiarvot noin 1–3 km/h alhaisempia kuin verrokkiyhdistelmien keskinopeuksien keskiarvot. Keskimääräisen nopeutensa puolesta HCT-yhdistelmät eivät siis näytä merkittävästi eroavan muista raskaista ajoneuvoyhdistelmistä. Keskinopeuksiin liittyviä tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava, että tulokset perustuvat varsin rajalliseen havaintomäärään.

Keskinopeuksien lisäksi tutkittiin ajoneuvoyhdistelmien nousunopeuksia mäissä. Kul-takin reitiltä valittiin yksi mäki, jossa HCT- ja verrokkiyhdistelmän nopeuksia vertailtiin. Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä nopeuksia tutkittiin Saariselän pohjoispuolella sijaitsevassa Magneettimäessä, Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä nopeuksia tutkittiin Äänekoskella sijaitsevassa Petomäessä ja Savonlinnan ja Lappeenrannan välisellä reitillä nopeuksia tutkittiin Parikkalassa sijaitsevassa mäessä, jota tässä työssä nimitettiin Vaaranmäeksi. Erot nousujen kestoajoissa olivat sitä suurempia, mitä pidemmästä mäestä oli kyse: 3600 metriä pitkän Magneettimäen nouseminen kesti HCT-yhdistelmältä keskimäärin 23,5 sekuntia verrokkiyhdistelmää kauemmin, 1600 metriä pitkän Petomäen nouseminen kesti HCT-yhdistelmältä keskimäärin 13 sekuntia verrokkiyhdistelmää kauemmin ja 850 metriä pitkän Vaaranmäen nouseminen kesti HCT-yhdistelmältä keskimäärin 6,5 sekuntia HCT-yhdistelmää kauemmin. Koska mäkien nouseminen kesti HCT-yhdistelmiltä verrokkiyhdistelmiä kauemmin, olivat HCT-yhdistelmien keskinopeudet mäissä sekä nousujen aikana havaitut alimmat nopeudet alhaisempia kuin verrokkiyhdistelmien vastaavat nopeudet. Rovaniemen ja Ivalon väliseltä reitiltä havaittiin yksi tapaus, jossa HCT-yhdistelmä pysähtyi Magneettimäkeen pidon loppumisen vuoksi, mutta muilta osin ongelmia mäkien nousemisessa ei havaittu. Yksittäistapaus kuitenkin osoittaa, että kuorman sijoitteluun ja säätötilan äkillisiin muutoksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota ja tarvittaessa on odotettava tienpitäjän toimenpiteitä, mikäli mäkien nousemiseen liittyy epävarmuutta.

Yleisesti ottaen ajoneuvon hitaampi nopeus muuhun liikennevirtaan nähden lisää ajoneuvon saavutettavuutta. Käytännössä tämä näkyy kasvavana ohituskysyntänä ja jonoutumisena ajoneuvon takana. Toisaalta alhaisemmalla nopeudella on myös positiivisia vaikutuksia: hitaammin ajavan ajoneuvon ohittaminen on helpompaa, sillä ohittaminen vie vähemmän aikaa ja sen suorittamiseksi tarvitaan lyhyempi vastaantulevasta liikenteestä ja näkemäesteistä vapaa tiealue. Lisäksi alhaisempi nopeus pienentää polttoaineenkulutusta ja saattaa parantaa ajoneuvoyhdistelmän käsiteltävyyttä ja siten pienentää erilaisia onnettomuusriskejä. Lisäksi kuljettajat voivat omalla toiminnallaan kompensoida ajoneuvoyhdistelmän nopeuden vaikutuksia: mikäli taakse kertyy pitkiä jonoja, voidaan jonottajat mahdollisuuksien mukaan päästää ohi siirtymällä esimerkiksi bussipysäkille. Lisäksi yksittäisiä ohituksia voidaan helpottaa osoittamalla suuntamerkillä edessä oleva tiealue vapaaksi vastaantulijoista. Videomateriaalin perusteella kuljettajat myös suorittivat edellä mainittuja toimenpiteitä.

Nopeuksien lisäksi tutkittiin ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymistä kiertoliittymissä ja reittien muissa liittymissä. Videomateriaalin perusteella HCT-ajoneuvoyhdistelmät mahtuivat ajamaan reittien kiertoliittymistä ilman ongelmia. HCT-ajoneuvoyhdistelmien pyyhkäisyalat todettiin kuitenkin verrokkiyhdistelmien pyyhkäisyaloja suuremmiksi, ja HCT-yhdistelmien kuljettajien oli käytettävä kiertoliittymissä käytettävissä oleva tila tarkemmin hyväkseen. HCT-yhdistelmien takapyörät kulkivat lähempänä kiertoliittymien kiertosaarekettä kuin verrokkiyhdistelmien takapyörät, ja kaksikaistaisissa kiertoliittymissä HCT-yhdistelmien takapyörät oikaisivat paikoin kiertoliittymän sisemmälle ajokaistalle. Erityisesti Rovaniemen ja Ivalon välisellä reitillä oli lisäksi nähtävissä, että talvella lumi vähensi käytettävissä olevaa tilaa merkittävästi ja lisäksi liukas tienpinta lisäsi kiertoliittymäajon haasteellisuutta. HCT-ajoneuvoyhdistelmien suurempi tilantarve voitiin nähdä myös muissa liittymissä verrokkiyhdistelmistä poikkeavina ajolinjoina. Koska liittymiä suunniteltaessa mitoitusajoneuvona on Suomessa yleisesti käytetty 25,25 metriä pitkää moduuliyhdistelmää, on sitä suurempien ajoneuvoyhdistelmien ajouria liittymissä tutkittava tapauskohtaisesti HCT-poikkeuslupia haettaessa. Mikäli HCT-ajoneuvot tulevaisuudessa yleistyvät esimerkiksi tietyillä kuljetuskäytävillä, voitaisiin suurempien ajoneuvoyhdistelmien tilantarve ottaa huomioon liittymien mitoituksessa. Tällöin yksittäisiin ajouratarkasteluihin ei tarvitsisi käyttää resursseja ja toisaalta HCT-ajoneuvojen liikkuminen liittymissä olisi sujuvampaa.

Videomateriaalin perusteella pyrittiin myös havainnoimaan muita ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyviä tekijöitä. Ajoneuvoyhdistelmien eri osien heilumista tarkasteltiin normaalissa ajossa sekä erityisesti ajoneuvoyhdistelmien suorittamien aktiivisten ohitusten aikana. Lisäksi ajoneuvoyhdistelmien vakautta seurattiin esimerkiksi voimakkaampien jarrutusten aikana. Ainoa silmämääräisesti havaittava ero todettiin Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän ja Kuljetus Szepaniakin verrokkiyhdistelmän välillä, sillä vetoautosta, puoliperävaunusta ja keskiakseliperävaunusta muodostetun verrokkiyhdistelmän keskiakseliperävaunun sivuttais- ja pystysuuntainen heilunta oli silmämääräisesti arvioiden voimakkaampaa kuin HCT-yhdistelmän perävaunujen heilunta. Myös verrokkiyhdistelmän kuljettajien kokemukset tukivat havaintoa. Muilta osin merkittäviä eroja ajoneuvoyhdistelmien välillä ei silmämääräisissä tarkasteluissa havaittu. On kuitenkin huomattava, ettei käytetty menetelmä anna tarkkaa kuvaa ajoneuvoyhdistelmien stabiliteetista. Asiaa on tutkittava tarkemmin siihen soveltuvalla tutkimuslaitteistolla ja -menetelmällä.

Kaiken kaikkiaan erot HCT-ajoneuvoyhdistelmien ja verrokkiyhdistelmien välillä todettiin verrattain pieniksi. Tässä työssä saatujen tulosten perusteella HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutukset esimerkiksi liikenteen sujuvuuteen eivät ole kovin suuria. On huomioitava, että kuljettajien toiminnalla on suuri merkitys, sillä ajoneuvoyhdistelmien kuljettajat voivat esimerkiksi kompensoida jonoutumista viestimällä sopivista ohituspaikoista jonottajille suuntamerkin avulla.

On huomattava, että tässä tutkimuksessa tavallista suurempien ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksia muuhun liikenteeseen tutkittiin yksittäisten ajoneuvojen tasolla. Tutkimuksessa saatujen tietojen avulla HCT-ajoneuvojen vaikutuksia muuhun liikenteeseen voitaisiin siirtä tarkastelemaan liikenneverkon tasolla, jolloin voitaisiin tutkia esimerkiksi sitä, millaisia vaikutuksia liikenteeseen olisi sillä, että tietty määrä normaalikoisia ajoneuvoyhdistelmiä korvattaisiin suuren hyötykuorman ajoneuvoyhdistelmillä. Tällöin raskaiden ajoneuvoyhdistelmien kokonaismäärä tieverkolla vähenisi, mikä vaikuttaisi edelleen esimerkiksi liikennevirrassa havaittavien aikavälien jakaumaan.

Vaikka esimerkiksi jonoutuminen yksittäisen HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana saattaisi kasvaa, voisi jonossa ajavien ajoneuvojen kokonaismäärä silti pienentyä vähentyneen raskaiden ajoneuvojen määrän vuoksi.

Lähteet

Af Wählberg, A. E. 2008. *Meta-analysis of the difference in accident risk between long and short truck configurations*. Journal of risk research. Vol. 11: 3. S. 315-333. [Viitattu 10.12.2015].

Ahonen, J. 2015. *Raskaan kaluston uudet massa- sekä mittamuutokset. Valtioneuvoston käyttöasetuksen muutos 407/2013*. Opinnäytetyö. Mikkeli: MAMK University of applied sciences. 82 s. Saatavissa:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88541/Ahonen_Joel.pdf?sequence=1

Andersson, J., Renner, L., Sandin, J., Fors, C., Strand, N., Hjort, M., Andersson Hultgren, J. & Almqvist, S. 2011. *Trafiksäkerhetspåverkan vid omkörning av 30-metersfordon*. Linköping, Sweden: Statens väg- och transportforskningsinstitut VTI. 64 s. + liitteet. ISSN: 0347-6030. Saatavissa:

<http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:670604/FULLTEXT01.pdf>.

Andersson, J., Sandin, J., Renner, L., Fors, C., Strand, N., Hjort, M., Andersson Hultgren, J. & Almqvist, S. 2012. *Traffic safety effects when overtaking 30 meter trucks*. Advances in Human Factors and Ergonomics 2012- 14 Volume Set: Proceedings of the 4th AHFE Conference 21-25 July 2012.

Bálint et al. 2014. *Accident analysis for traffic safety aspects of high capacity transports*. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology. 39 s. Saatavissa: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/198451/local_198451.pdf.

Barton, R. A. & Morral, J. 1998. *Study of long combination vehicles on two-lane highways*. Transportation Research Board: Transportation research record 1613. Paper No 98-0007.

Blomberg, O. 1996. *Suomen kuorma-autoliikenteen historia I*. Forssa: Forssan kirjapaino Oy. 276 s. ISBN: 951-9294-26-0.

Botma, H. 1986. *Traffic operation on busy two-lane rural roads in the Netherlands*. Transportation Research Board: Transportation Research Record 1091.

Brilon, W., Koenig, R. & Troutbeck, R. J. 1999. *Useful estimation procedures for critical gaps*. Transportation research part A: policy and practice. Vol. 33: 3-4. S. 161-186. [Viitattu 30.3.2016]. DOI 10.1016/S0965-8564(98)00048-2.

Cider, L. & Ranäng, S. 2013. *Slutrapport Duo2-Trailer*. Stockholm, Sverige: FFI Fordonsstrategisk forskning och innovation. 16 s. Saatavissa: http://www.vinnova.se/PageFiles/751290063/2010-02849_publicirapport_SV.pdf.

Closer. 2015. *Årsrapport High Capacity Transport*. 45 s. Saatavissa: http://closer.lindholmen.se/sites/default/files/content/resource/files/arsrapport_high_capacity_transport_2014_-_final.pdf.

Duo2.nu. 2015a. *Duo2 - Klimatsmarta transporter*. [Online]. Viitattu 10.01.2016. Saatavissa: <http://duo2.nu/>.

Duo2.nu. 2015b. *Bilder DUO-trailer*. [Online]. Viitattu 10.01.2016. Saatavissa: http://duo2.nu/?page_id=53.

Duo2.nu. 2015c. *Bilder DUO-kärä*. [Online]. Viitattu 10.01.2016. Saatavissa: http://duo2.nu/?page_id=13.

Enberg, Å. 1988. *Köbildning på tvåfältsvägar*. Diplomarbetet. Esbo: Tekniska högskolan. 255 s.

EUR-lex. 1996. *Neuvoston direktiivi 96/53/EY*. [Online]. Viitattu 25.9.2015. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:31996L0053>.

Finlex. 1992. *Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä*. [Online]. Viitattu 3.10.2015. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19921257>.

Finlex. 1997. *Asetus ajoneuvojen rakenteesta ja varusteista annetun asetuksen muuttamisesta*. [Online]. Viitattu 21.3.2016. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1997/19970671>.

Finlex. 2013. *Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä annetun asetuksen muuttamisesta*. [Online]. Viitattu 21.8.2013. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130407>.

Grislis, A. 2010. *Longer combination vehicles and road safety*. Transport. Vol. 25: 3. S. 336–343. [Viitattu 20.11.2015]. DOI 10.3846/transport.2010.41.

Gröndahl, T. *High Capacity Transports. Fallstudier: Ekonomiska och miljömässiga jämförelser mellan HCT, konventionell lastbil och järnväg*. Examensarbete. Stockholm, Sverige: Kungliga tekniska högskolan. 63 s. + liitteet. Saatavissa: http://www.kth.se/polopoly_fs/1.352187!/Menu/general/column-content/attachment/X12_018_report.pdf.

Hammarström, U. 1978. *Omkörningar av långa fordonskombinationer. Studie av mötesmarginaler*. Linköping, Sverige: Statens väg- och trafikinstitut VTI. 138 s. + liitteet. Saatavissa: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:674272/FULLTEXT01.pdf>.

Hanley, P. F. & Forkenbrock, D. J. 2005. *Safety of passing longer combination vehicles on two-lane highways*. Transportation research part A: Policy and practice. Vol 39: 1. S. 1–15. [Viitattu 30.9.2016]. DOI: 10.1016/j.tra.2004.09.001.

Heikinheimo, I. 2009. *Annetaanpa välikaasua! 50 vuotta autohistoriallista osaamista*. Helsinki: Suomen Autobiili-Historiallinen Klubi - Finlands Automobil-Historiska Klubb ry. 376 s. ISBN: 978-952-92-5909-0.

Hievanen, J. 2015. *Lapin 104-tonninen nousee Magneettimäen liukkailla. Talvivarustus ei jätä pulaan*. Ajolinja 9/2015, s. 4–7.

Hs.fi. 2015. *Mitä suurempi sen parempi: Suomen pisin rekka lähti tänään neitsytmatkalle*. [Online]. Viitattu 7.9.2015. Saatavissa: <http://www.hs.fi/autot/a1426226779774>.

Ilgner, F. & Benrick, P. 2014. *Potential of high capacity transport solutions (road). Two case studies in the region of Örebro, Sweden*. Örebro, Sweden: Örebro regional development council. 47 s. Saatavissa:
http://media.grecor.eu/2012/10/GreCOR_final_report_HCT_Case_studies.pdf.

Ilmatieteenlaitos.fi. 2016. *Talvisään tilastoja*. [Online]. Viitattu 10.3.2016. Saatavissa:
<http://ilmatieteenlaitos.fi/talvitilastot>.

Jakonen, J. 1991. *Kuorma-autojen vaikutuksesta muuhun liikenteeseen*. Helsinki: Tiehallitus, kehittämiskeskus. Tielaitoksen selvityksiä 42/1991. 76 s. ISSN: 0788-3722.

Jonsson, R. & Åkerman, I. 2007. *European Modular System for road freight transport – experiences and possibilities*. Stockholm, Sweden: TFK - Transportforsk AB. 81 s. + liitteet. ISBN: 978-91-85665-07-5. Saatavissa:
<http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=390>.

Kallberg, H. 1980. *Overtakings and platoons on two-lane rural roads*. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 98 s. + liitteet. ISBN 951-38-1019-4.
 Kauppalehti.fi. 2015. *Nyt on rekalla kokoa: Suomen pisin tien päälle*. [Online]. Viitattu 29.9.2015. Saatavissa:
<http://www.kauppalehti.fi/uutiset/suomen-pisin-jattirekka-lahti-tien-paalle/rWdC45cb>.

Ketosenliikenne.fi. 2016. *Yleistä*. [Online]. Viitattu 9.3.2016. Saatavissa:
http://ketosenliikenne.fi/?page_id=5.

Kharrazi, S., Karlsson, R., Sandin, J. & Aurell, J. 2015. *Performance based standards for high capacity transports in Sweden*. Linköping, Sweden: Swedish national road and transport research institute VTI. 73 s. ISSN: 0347-6030. Saatavissa:
<http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:812287/FULLTEXT01.pdf>.

Kinnunen, T. & Simonen, M. 2011. *Porokolarit ja niiden vähentäminen*. Rovaniemi: Lapin ELY-keskus. 59 s. Saatavissa:
<https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/57378/Loppuraportti2011.pdf/3ff241ea-b975-4c64-820c-a761e40950b7>.

Knight, I., Newton, W. & McKinnon, A. 2008. *Longer and/or longer and heavier goods vehicles (LVHs) - a study of the likely effects if permitted in the UK: Final report*. Berkshire, United Kingdom: IHS. 311 s. ISBN: 978-1-846-08-719-6. Saatavissa:
<https://www.nomegatrucks.eu/deu/service/download/trl-study.pdf>.

Konepörssi.com. 2009. *Tehokkaampaa, vihreämpää puukyytiä*. [Online]. Viitattu 8.2.2016. Saatavissa:
<http://www.koneporssi.com/uutiset/tehokkaampaa-vihreampaa-puukyytia/>.

Konepörssi.com. 2013. *Suuremmilla puuautoilla parempaa tehokkuutta*. [Online]. Viitattu 8.2.2016. Saatavissa:
<http://www.koneporssi.com/uutiset/suuremmilla-puuautoilla-parempaa-tehokkuutta/>.

Korpilahti, A. & Venäläinen, P. 2015. *HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutus puutavara-kuljetusten tehostamisessa*. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. 72 s. ISBN: 978-952-227-988-0. Saatavissa:

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75029/TEM-jul_30_2015_web_23042015.pdf?sequence=1.

Ksml.fi. 2015. *Jättirekka alkaa liikennöidä Nelostiellä*. [Online]. Viitattu 9.9.2015. Saatavissa:

<http://www.ksml.fi/uutiset/talous/keskon-34-metrinen-jattirekka-ilmestyy-nelostielle/2004729>.

Kuljetusyrittäjä. 2015. *Orpe kuljetus panostaa tulevaisuuteen*. Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry:n jäsenlehti 2/15. S. 22–25. Saatavissa:

http://www.skaf.fi/files/14728/KY_2_2015_web_sisalto.pdf.

Kyster-Hansen, H. & Sjögren, J. *Roadmap high capacity transports on road in Sweden*. Gothenburg, Sweden: Closer. 67 s. Saatavissa:

http://www.lindholmen.se/sites/default/files/content/PDF/2013-08-13_roadmap_hct-roads_final.pdf.

Lahti, O. & Tanttu, A. 2016. *HCT-liikenteen kesäajan raportti 2015*. Helsinki: Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. 14 s. Saatavissa:

http://www.trafi.fi/filebank/a/1453359017/9994eb4fca6d9c1489cf8ec939fbe1e3/19562-HCT-ohjausryhman_kesaajan_raportti_120116.pdf.

Lapin Tuli Oy. 2015. *Jätin matkassa – euroja ja luontoa säästäen*. [Online]. Viitattu 9.3.2016. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=tlFcKTN1ZvI>.

Lehtinen, J. 1999. *Ohitusnäkemät*. Helsinki: Tielaitos, tie- ja liikennetekniikka. Tielaitoksen selvityksiä 16/1999. 81 s. + liitteet. ISBN 951-726-524-7.

Lehtinen, J. 2015. *Nonlinear Lateral Dynamic Behavior of a High Capacity Transport Vehicle*. Master's thesis. Espoo: Aalto University. School of Engineering. 94 s.

Lehtonen, S. 2008. *Raskaan liikenteen määrän vaikutus kaksikaistaisten teiden liikenteen sujuvuuteen ja liikenneturvallisuuteen*. Diplomityö. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. 127 s.

Liikennevirasto. 2015a. *LAM-kirjat vuodelta 2014 liikennevastuualueittain (Ely)*. [Online]. Viitattu 10.3.2016. Saatavissa:

<http://www.liikennevirasto.fi/tilastot/tietilastot/lam-kirjat#.VuCkmVKI8vc>.

Liikennevirasto. 2015b. *Liikennemääräkartat*. [Online]. Viitattu 14.3.2016. Saatavissa:

<http://www.liikennevirasto.fi/tilastot/tietilastot/liikennemaarakartat1#.WD1aeE7zK3Q>.

Liikennevirasto. 2015c. *Tietilasto 2014*. Helsinki: Liikennevirasto. Liikenneviraston tilastoja 7/2015. 49 s. ISBN 978-952-317-114-5. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lti_2015-07_tietilasto_2014_web.pdf.

Lt.se 2014. *Scania premiärårker Sveriges längsta lastbil*. [Online]. Viitattu 7.9.2015. Saatavissa: <http://lt.se/nyheter/sodertalje/1.2547616-scania-premiaraker-sveriges-langsta-lastbil>.

Luttinen, R. T. 2001. *Capacity and level of service on Finnish two-lane highways*. Helsinki: Finnish road administration. 234 s. ISBN 951-726-748-7. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/s12/htdocs/photo/julkaisut/3200665etwo_line_highways.pdf.

Luttinen, R. T., Pursula, M. & Innamaa, S. 2005. *Liikennevirran ominaisuudet*. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. 316 s. ISSN 0781-5387.

Löfroth, C. & Svenson, G. 2012. *ETT - modulsystem för skogstransporter - En Trave Till (ETT) och Större Travar (ST)*. Arbetsrapport. Uppsala, Sweden: Skogforsk. 40 s. ISSN: 1404-305X. Saatavissa: <http://www.skogforsk.se/contentassets/2879c48ec0bd4cc8b5f10058f1611c24/arbetsrapport-758-2012.pdf>.

Marlina, S. 2012. *Understanding the dynamics of truck traffic on freeways by evaluating truck passenger car equivalent (PCE) in the Highway Capacity Manual (HCM) 2010*. Doctoral thesis. Denver, USA: University of Colorado. 218 s. + liitteet. Saatavissa: http://dspace.library.colostate.edu/webclient/DeliveryManager/digitool_items/dss01_storage/2012/12/06/file_1/175005.

McGowen, P. & Stanley, L. 2012. *Alternative methodology for determining gap acceptance for two-way stop-controlled intersections*. Journal of Transportation Engineering. Vol. 138: 5. S. 495–501. [Viitattu 3.3.2016]. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000358.

McLean, J. R. 1989. *Two-lane highway traffic operations. Theory and practice*. New York, USA: Gordon And Breach Science Publishers. 399 s. ISBN 2-88124-725-3.

Mellin, A. & Ståhle, J. *Omvärlds- och framtidsanalys - längre och tyngre väg- och järnvägsfordon*. Linköping, Sverige: Statens väg- och trafikinstitut VTI. 63 s. + liitteet. ISSN: 0347-6030. Saatavissa: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:670556/FULLTEXT01.pdf>.

Metsähallitus. 2013. *Suurten ajoneuvoyhdistelmien käyttökokeilu Lapissa*. Rovaniemi: Lapin liikenneturvallisuusfoorumi 13.11.2013. Saatavissa: <http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/1815644/Isojen+rekkojen+kokeilu+Lapissa/20b9b9co-29e5-4629-b02f-d0a309a015b6>.

Metsähallitus. 2015. *Enemmän kuormaa – vähemmän päästöjä ja kustannuksia*. Saatavissa: http://www.e-julkaisu.fi/metsahallitus/autoesite/pdf/MH_Autoesite_A4_final_2.pdf.

Metsämaailma.fi. 2014. *Iso ja hyvätapainen pölliautoinnovaatio tutkii ja kehittää puutavaran kokonaislogistiikkaa*. [Online]. Viitattu 31.8.2015. Saatavissa: <https://www.metsamaailma.fi/fi/News/Blog/Sivut/puutavarayhdistelma-jattirekka-liikenteessa.aspx>.

Metsäteho.fi. 2015. *Puutavaran HCT-yhdistelmien tutkimus*. [Online]. Viitattu 31.8.2015. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/hct/>.

Montufar, J., Regerh, J., Rempel, G. & McGregor, R. 2007. *Long combination vehicle (LCV) safety performance in Alberta: 1999-2005*. Alberta, Canada: Alberta infrastructure and transportation policy and corporate services division. Saatavissa: <http://www.transportation.alberta.ca/Content/docType61/production/LCVFinalReport2005.pdf>.

Morrall, J.F. & Werner, A. 1984. *A Unified traffic Flow Theory Model for Two Lane Rural Highways*. Transportation forum vol. 1-3. S. 79-87.

Ojanen, O. 2000. *Kuorma-autot kipillä, kopalla ja rekalla 1900-1960 -luvuilla*. Helsinki: Alfamer. 143 s. ISBN: 9789525089547.

OP Oulun yrityslehti. 2015. *Jättirekka sahaa Kempeleen ja Vantaan väliä*. OP Oulun yrityslehti 1/2015. S. 4.

Orpekuljetus.fi. 2014. *HCT-yhdistelmä liikenteessä*. [Online]. Viitattu 14.3.2016. Saatavissa: <http://www.orpekuljetus.fi/orpe/?p=835>.

Orpekuljetus.fi. 2015. *Esittely - Orpe Kuljetus*. [Online]. Viitattu 10.10.2015. Saatavissa: http://www.orpekuljetus.fi/orpe/?page_id=10.

Pesu, P. 1996. *Raskaan liikenteen vaikutukset liikenteen sujuvuuteen*. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopisto. 102 s.

Ristikartano, R., Granlund, R., Räsänen, J. & Salmelin, L. 2012. *Tiensuunnittelun liikennetekniset mitoitusperusteet*. Helsinki: Liikennevirasto. 96 s. ISBN 978-952-255-226-6. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-50_tiensuunnittelun_liikennetekniset_web.pdf.

Roine, M. 1972. *Tutkimus kaksiajokaistaisen tien liikenteenvälityskyvystä*. Diplomityö. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.

Saarenketo T., Matintupa, A., Varin, P., Kolisoja, P., Herronen, T. & Hiekkalahti, A. 2012. *Pajala road impact analysis*. 54 s. Saatavissa: http://www.trafikverket.se/contentassets/ff1e307734044347afb4ca46d99810ef/pajala_road_impact_analysis_final_02022012.pdf.

Sandin, J., Bálint, A., Fagerlind, H. & Kharrazi, S. 2014. *Traffic safety of heavy goods vehicles and implications for high capacity transport vehicles*. Transport Research Arena 2014, Paris. Saatavissa: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1316896>.

Skogforsk.se. 2016. *Aktiva fordon*. [Online]. Viitattu 6.4.2016. Saatavissa: <http://www.skogforsk.se/EnergiEffektivaTransporter/Aktiva-fordon/>.

Sparks, G. A., Neudorf, R. D. & Robinson, J. B. I. 1993. *Effect of vehicle length on passing operations*. Journal of Transportation Engineering. Vol. 119: 2. S. 274-283. [Viitattu 10.12.2015].

Sparks, G. A., Stang, N., Sillers, S. & Burns, N. 2000. *Simulating LCV traffic operations on two-lane rural highways*. 6th international symposium on heavy vehicle weights and dimensions. Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

Summala, H., Karola, J., Radun, I. & Coyoundjian, A. 2006. *Kohtaamisonnettomuudet päätieverkolla - kehitys ja syyt*. Helsinki: Tiehallinto. 76 s. ISBN 951-803-122-3. Saatavissa:

<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200830-vkohtaamisonnettomuudet.pdf>.

Svensk åkeritidning. 2015. *DUO2-ekipaget rullar igen*. [Online]. Viitattu 8.2.2016. Saatavissa: <http://www.akeritidning.se/svensk-akeritidning/nyheter/2015/12/15/duo-2-ekipaget-rullar-igen>.

Tapio, J. 2003. *Ohitukset kaksikaistaisilla teillä*. Helsinki: Tiehallinto. 33 s. ISBN 951-803-130-4. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200834ohitukset.pdf>.

Tiehallinto. 2006. *Kaakkois-Suomen päätieverkon simulointi Kymenlaakson ja Etelä-Karjalan alueella*. Kouvola: Tiehallinto. 92 s. ISSN 1458-1561. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/4000540-v-tiesimulointi_kas.pdf.

Tielaitos, 1999. *Tietoa tiensuunnitteluun nr. 46*. Helsinki: Tielaitos. Saatavissa Internetissä: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/tts46.pdf>.

Tilastokeskus, 2015. *Moottoriajoneuvokanta 2014*. Helsinki: Tilastokeskus. 8 s. ISSN 1796-0479. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/mkan/2014/mkan_2014_2015-03-20_fi.pdf.

Torkkeli, J. 1996. *Raskaan liikenteen vaikutukset nopeuksiin ja jononmuodostuksiin*. Päättötyö. Etelä-Karjalan ammattikorkeakoulu. 52 s.

Trafi.fi. 2016a. *HCT-rekat*. [Online]. Viitattu 1.12.2016. Saatavissa: http://www.trafi.fi/tieliikenne/luvat_ja_hyvaksynnat/hct-rekat.

Trafi.fi. 2016b. *Kuljetusyrityksille myönnettyt luvat*. [Online]. Viitattu 1.12.2016. Saatavissa: http://www.trafi.fi/tieliikenne/luvat_ja_hyvaksynnat/hct-rekat/kuljetusyrityksille_myonnettyt_luvat.

Transportnet.se 2014. *Jula får börja köra 31-metersfordon*. [Online]. Viitattu 7.9.2015. Saatavissa: <http://transportnet.se/nyheter/jula-far-borja-kora-31-metersfordon/>.

TRB, Transportation Research Board. 2010. *HCM 2010 Highway Capacity Manual 2010*. Washington DC, USA: Transportation Research Board. ISBN 978-0-309-16077-3.

Troutbeck, R.J. 1981. *Overtaking behaviour on Australian two-lane rural highways*. Vermont, Australia: Australian road research board. 141 s. + liitteet. ISBN: 0-86910-043-2.

UPM.com. 2013. *UPM testasi 100 tonnia painavia ja yli 25,25 metriä pitkiä ajoneuvoyhdistelmiä*. [Online]. Viitattu 31.8.2015. Saatavissa: <http://www.upm.fi/UPM/Uutishuone/uutiset/Pages/UPM-testasi-100-tonnia-painavia-ja-yli-25,25-metri%C3%A4-pitki%C3%A4-ajoneuvoyhdistelmi%C3%A4.aspx>.

UPM.com. 2014. *Nykyistä suurempia kuormia kuljettavien puutavara-autojen kehitystyö jatkuu*. [Online]. Viitattu 31.8.2015. Saatavissa: <http://www.upm.fi/UPM/Uutishuone/uutiset/Pages/Nykyist%C3%A4-suurempia-kuormia-kuljettavien-puutavara-autojen-kehitysty%C3%B6-jatkuu-001-Thu-14-Aug-2014-11-09.aspx>.

Volvotrucks.com. 2014. *ETT-bilen på 90 ton går i pension och blir en del av Volvo Museum*. [Online]. Viitattu 7.10.2015. Saatavissa: <http://www.volvomuseum.com/se/ett-volvo-museum/>.

Von Hofsten, H. & Funck, J. 2015. *Utveckling av HCT-fordon i Sverige. Development of HCT vehicles in Sweden*. Arbetsrapport. Uppsala, Sweden: Skogforsk. 28 s. ISSN: 1404-305X. Saatavissa: <http://www.skogforsk.se/contentassets/a0c58c6923b14958bf5b036a49c05eb7/utveckling-av-hct-fordon-i-sverige-hela.pdf>.

Wardrop, J. G. 1952. *Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Vol. 1: 3. S. 325–362. [Viitattu 9.2.2016]. DOI: 10.1680/ipeds.1952.11259.

Ye, Y. & Shen, J. *High capacity transport associated with pre- and post-haulage in intermodal rail-road transport*. Master degree project. Gothenburg, Sweden: University of Gothenburg. 76 s. Saatavissa: https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/37718/1/gupea_2077_37718_1.pdf.

ISSN-L 1798-6656
ISSN 1798-6664
ISBN 978-952-317-463-4
www.liikennevirasto.fi

Liik
enne
vira
sto